Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Διαστημικής

Εργαστήριο Μικροκυμάτων

Κεραίες

Μήτρακα Βασιλική

"Γενική Επισκόπηση Πεπραγμένων Εικοσαετίας 1985-2004 της Ερευνητικής Ομάδας Κεραιών του Δ.Π.Θράκης και Προοπτικές"

Μεταπτυχιακή Διατριβή #03

Ξάνθη

Φεβρουάριος 2006

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Διαστημικής

Εργαστήριο Μικροκυμάτων

Κεραίες

Μήτρακα Βασιλική

"Γενική Επισκόπηση Πεπραγμένων Εικοσαετίας 1985-2004 της Ερευνητικής Ομάδας Κεραιών του Δ.Π.Θράκης και Προοπτικές"

Μεταπτυχιακή Διατριβή #03

Ξάνθη

Φεβρουάριος 2006

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Διαστημικής

Εργαστήριο Μικροκυμάτων

Κεραίες

Μήτρακα Βασιλική

"Γενική Επισκόπηση Πεπραγμένων Εικοσαετίας 1985-2004 της Ερευνητικής Ομάδας Κεραιών του Δ.Π.Θράκης και Προοπτικές"

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Ε.Μ.Π. κ. Νικόλαος Ουζούνογλου

Καθηγητής Δ.Π.Θ. κ. Εμμανουήλ Σαρρής

Αναπληρωτής Καθηγητής Δ.Π.Θ. κ. Γεώργιος Κυριακού

Αναπληρωτής Καθηγητής Δ.Π.Θ. κ. Μιχαήλ Χρυσομάλλης

Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ. κ. Πέτρος Ζιμουρτόπουλος

[Επίβλεψη]

Μεταπτυχιακή Διατριβή #03

Ξάνθη

Φεβρουάριος 2006

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων

Πρόλογος

Η διατριβή αυτή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μικροκυμάτων του Δ.Π.Θ υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Πέτρου Ζιμουρτόπουλου. Η εργασία αυτή αποτελείται από δυο σκέλη το μέρος συλλογής και επεξεργασίας και το ερευνητικό μέρος. Στο πρώτο μέρος έγινε μια προσπάθεια συλλογής και ομαδοποίησης των περισσοτέρων διπλωματικών και μεταπτυχιακών εργασιών που έχουν εκπονηθεί από το 1987 έως το 2004 από την ερευνητική ομάδα κεραιών του Δ.Π.Θ. Στο ερευνητικό κομμάτι χρησιμοποιήθηκε η ήδη υπάρχουσα γνώση για την ανάλυση κεραιών λεπτού σύρματος και έγινε μια προσπάθεια επέκτασης σε κεραίες μη λεπτού σύρματος και μελέτης της συμπεριφοράς αυτών. Πιο αναλυτικά λοιπόν έχουμε:

Όπως αναφέρθηκε στο κομμάτι συλλογής και επεξεργασίας έγινε η συγκέντρωση ενός μεγάλου πλήθους εργασιών που έχουν εκπονηθεί από το 1987 έως το 2004 από την ερευνητική ομάδα κεραιών του Δ.Π.Θ. Συγκεκριμένα πρόκειται για 2 μεταπτυχιακές διατριβές και 21 διπλωματικές εργασίες οι οποίες θα παρουσιαστούν. Οι εργασίες αυτές αρχικά σαρώθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε ηλεκτρονική μορφή. Στη συνεχεία αναπτύχθηκε μια ηλεκτρονική βιβλιοθήκη στην οποία περιέχονται όλες αυτές οι εργασίες καθώς μια εργασία σε μορφή εγχειριδίου-οδηγιών για το λειτουργικό σύστημα linux που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού. Η ηλεκτρονική βιβλιοθήκη είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο στη διεύθυνση http://antennas.ee.duth.gr/daglibbeta. Σε αυτή μπορεί κανείς να προσπελάσει όλες αυτές τις εργασίες χρησιμοποιώντας μια εύχρηστη διεπαφή. Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις εργασίες που περιέχονται στην ηλεκτρονική βιβλιοθήκη, έχουν περαστεί σε ηλεκτρονική μορφή σχεδόν όλες οι υπόλοιπες οι οποίες έχουν εκπονηθεί στη μακροχρόνια αυτή πορεία της Ερευνητικής Ομάδας Κεραιών.

Στο ερευνητικό κομμάτι της εργασίας αυτής μελετήθηκαν οι κεραίες μη λεπτού σύρματος. Αρχικά η μελέτη έγινε για μη λεπτά δίπολα και ο σκοπός ήταν η εξαγωγή των πιο σημαντικών παραμέτρων τους στην περίπτωση μεγάλης ακτίνας. Έτσι λοιπόν τα χαρακτηριστικά που υπολογίσθηκαν για τα μη λεπτά δίπολα είναι η αμοιβαία αντίσταση, η ιδία αντίσταση και η αντίσταση εισόδου. Κάθε μη λεπτό στέλεχος του δίπολου προσομοιώθηκε με πλέγμα λεπτών συρμάτων (διαφορετικής ακτίνας) κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται ένας κλωβός (λεπτομερέστατη περιγραφή θα δοθεί στη συνεχεία της διατριβής). Για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων λοιπόν αναπτύχθηκε το κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό αποτελείται από μια γραφική διεπαφή χρηστή (Graphic User Interface, GUI), όπου ο χρηστής εισάγει μια σειρά παραμέτρων για να υπολογιστούν τελικά τα χαρακτηριστικά που επιθυμεί σύμφωνα με τη γεωμετρία που επιλέγει. Για την προσομοίωση της κεραίας χρησιμοποιείται το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για διαφορετικές ακτινές, το οποίο έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενη διπλωματική εργασία, μετά από τις απαραίτητες τροποποιήσεις και διορθώσεις που έγιναν σε αυτό. Το λο-

γισμικό αναπτύχθηκε σε γλώσσα Python και πρέπει να τονιστεί ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνο βιβλιοθήκες ανοιχτού κώδικα (Open Source).

Τα πρώτα τέσσερα κεφαλαία αποτελούν το μέρος συλλογής και επεξεργασίας της Διατριβής.

Στο Πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής της On-line ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης και η χρήση της.

Στο Δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναπτύσσονται οι διπλωματικές εργασίες οι οποίες αφορούν την μελέτη και πιστοποίηση συγκεκριμένων τύπων κεραιών. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή κάθε τύπου κεραίας και παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την μελέτη της.

Στο Τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι διπλωματικές εργασίες που έχουν να κάνουν με βελτιώσεις και επεκτάσεις τεχνικών ανάλυσης κεραιών. Εδώ περιέχονται τροποποιήσεις προγραμμάτων και υπορουτίνων.

Στο Τέταρτο κεφαλαίο αναλύονται και παρουσιάζονται οι μεταπτυχιακές διατριβές που εκπονήθηκαν από την Ερευνητική ομάδα κεραιών.

Τα τελευταία τρία κεφάλαια αποτελούν το ερευνητικό μέρος της διατριβής.

Στο Πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θεωρητικό κομμάτι που έχει να κάνει με της κεραίες μη λεπτού σύρματος. Δίνεται αναλυτικά ο τρόπος που προσομοιώνεται κάθε μη λεπτό σύρμα και αναλύεται το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

Στο Έκτο κεφαλαίο παρουσιάζεται το λογισμό που αναπτύχθηκε. Αναλύονται όλες οι λειτουργίες του και δίνονται ενδεικτικές οδηγίες για την χρήση του. Επίσης παρουσιάζονται και οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του.

Στο Έβδομο κεφαλαίο γίνονται οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων μας με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και άλλων προγραμμάτων για τη επαλήθευση του μοντέλου μας.

Στο Όγδοο κεφαλαίο παρουσιάζονται τελικώς όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την αμοιβαία , την ιδία και την αντίσταση εισόδου για ένα πλήθος διαφορετικών παραμέτρων. Γίνονται επίσης συγκρίσεις με αλλά προγράμματα καθώς και με τις αντίστοιχες τιμές για λεπτά σύρματα.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ. Πέτρο Ζιμουρτόπουλο, για την ιδέα του θέματος της μεταπτυχιακής διατριβής μου, τη συνεχή καθοδήγηση και το ενδιαφέρον που επέδειξε καθ’ όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κα. Ν. Γιαννόπουλου για το διαρκές ενδιαφέρον της μέχρι το πέρας αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 1 : Κατασκευή της On-line Open Source βιβλιοθήκης.

Η On-line ηλεκτρονική βιβλιοθήκη, η οποία είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο στη διεύθυνση http://antennas.ee.duth.gr/daglibbeta, περιέχει 2 μεταπτυχιακές διατριβές και 21 διπλωματικές εργασίες, οι οποίες εκπονήθηκαν από το 1987 έως το 2004 από την Ερευνητική Ομάδα Κεραιών του Δ.Π.Θ. Επίσης περιέχεται μια εργασία σε μορφή εγχειριδίου-οδηγιών για το λειτουργικό σύστημα linux που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού. Στη βιβλιοθήκη αυτή μπορεί κανείς να προσπελάσει όλες αυτές τις εργασίες χρησιμοποιώντας μια εύχρηστη διεπαφή. Τα συνολικά στάδια για τη δημιουργία της είναι τα ακόλουθα:

1.1 : Σάρωση διπλωματικών εργασιών και μεταπτυχιακών διατριβών.

Οι διπλωματικές εργασίες και οι μεταπτυχιακές διατριβές οι οποίες περιέχονται στην ηλεκτρονική βιβλιοθήκη σαρώθηκαν με τη βοήθεια του μηχανήματος σάρωσης του Εργαστηρίου Μικροκυμάτων του Δ.Π.Θ. και περάστηκαν σε ηλεκτρονική μορφή. Κάθε σελίδα της διπλωματικής αποθηκεύτηκε σε μορφή εικόνας τύπου Bitmap. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Desktop Binder v2Lite που περιέχεται στο CD λογισμικού του σαρωτή που χρησιμοποιήσαμε. Η διαδικασία της σάρωσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Από το μενού εκκίνησης επιλέγουμε το πρόγραμμα Desktop Binder v2Lite (Start → Programmes → Desktop Binder v2Lite.
2. Στη συνέχεια επιλέγουμε από το μενού τη λετουργία Tools → Scan settings και ρυθμίζουμε οι εικόνες που σαρώνονται να αποθηκεύονται σε μορφή Bitmap.
3. Έπειτα πατάμε το κουμπί Scan, οπότε ανοίγει ένα παράθυρο με ρυθμίσεις και επιλέγουμε:
    - Ανάλυση σάρωσης: 215dpi.

- Βάθος χρώματος: Grayscale (8-bit).
- Τρόπος σάρωσης: ADF (για να πραγματοποιείται αυτόματη τροφοδοσία χαρτιού).
- Τρόπος τροφοδοσίας χαρτιού: 0° (180° back).
- Προσανατολισμός σελίδας: Portrait.
- Αν θέλουμε κάποιες επιπλέον ρυθμίσεις ενεργοποιούμε την επιλογή Adittional Settings και στη συνέχεια διαλέγουμε Erase background, αν θέλουμε η σάρωση να είναι διπλής όψης και να μη φαίνεται το πίσω μέρος της σελίδας.

4. Εισάγουμε τον κωδικό και πατάμε το κουμπί Scan.
5. Μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση πατάμε το κουμπί Export Scan και επιλέγουμε τον φάκελο στον οποίο θα εξάγουμε τα αρχεία.

1.2 : Επεξεργασία των εικόνων ώστε να έρθουν σε κατάλληλη μορφή πριν την εισαγωγή τους στην On-line ηλεκτρονική βιβλιοθήκη.

Η επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος FastStone PhotoResizer το οποίο διανέμεται ελεύθερα στο διαδίκτυο στη διεύθυνση http://www.faststone.org. Τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν είναι:

1. Επιλέχθηκε η καρτέλα Batch Rename και μετονομάσαμε τα αρχεία.
2. Στη συνέχεια στην καρτέλα Batch Convert ενεργοποιήσαμε την επιλογή Options και διαλέξαμε αρχικά την καρτέλα Resize για να αλλάξουμε το μέγεθος των εικόνων που θέλουμε. Η σμίκρυνση αυτών έγινε κατά 40% με τη μέθοδο που προτείνει το πρόγραμμα.
3. Έπειτα επιλέξαμε τα αρχεία να είναι τύπου gif 16 χρωμάτων και πιέσαμε το κουμπί Start.
4. Μετά την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου ακολούθησε η προσθήκη του υδατογραφήματος των σελίδων χρησιμοποιώντας την καρτέλα Watermark.

1.3 : Δημιουργία της On-line ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης.

Η κατασκευή της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Frontpage 2000. Υπάρχει μια αρχική σελίδα, Σχήμα 1.1, στην οποία αναγράφονται οι τίτλοι των διπλωματικών εργασιών και των μεταπτυχιακών διατριβών κατά τον τρόπο που έχουν κατηγοριοποιηθεί στην διατριβή καθώς και εργασιών-εγχειριδίων για οποιαδήποτε άλλα προγράμματα. Για κάθε εργασία υπάρχουν σύνδεσμοι (links) οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη είτε να οδηγηθεί σε μια σύντομη περίληψή (10-15 γραμμμών) της είτε στο πλήρες κείμενο, όπως φαίνεται από το Σχήμα 1.2. Οι διπλωματικές είναι οργανωμένες σε δενδροειδή μορφή. Υπάρχει η σελίδα των περιεχομένων, η οποία έχει ενεργά links προς κάθε κεφάλαιο-παράγραφο. Επίσης, υπάρχουν

HTML σελίδες στις οποίες βρίσκονται μικρογραφίες (Thumbnails) όλων των υπόλοιπων σελίδων της διπλωματικής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.

Σε κάθε σελίδα των εργασιών υπάρχει το υδατογράφημα του εργαστηρίου. Μια τέτοια σελίδα φαίνεται στο Σχήμα 1.4. Σε περίπτωση που κάποιος επιθυμεί αντίγραφο της εργασίας χωρίς υδατογράφημα υπάρχει σύνδεσμος που οδηγεί σε μια σελίδα στην οποία μπορεί να στείλει e-mail στον υπεύθυνο προκειμένου να του χορηγηθεί αυτό. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι για λόγους εκτύπωσης τα χρώματα στα παρακάτω σχήματα έχουν τροποποιηθεί.

Σχήμα 1.1 : Εισαγωγική σελίδα της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης με συνδέσμους προς διάφορες κατηγορίες εργασιών που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη.

Σχήμα 1.2 : Μέρος της εισαγωγικής σελίδας της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης με συνδέσμους προς τις εργασίες και τις περιλήψεις τους.

Σχήμα 1.3 : Σελίδα της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης που περιέχει μικρογραφίες σελίδων κάποιας εργασίας και τους αντίστοιχους συνδέσμους προς αυτές.

Σχήμα 1.4 : Σελίδα της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης με το υδατογράφημα του εργαστηρίου.

Κεφάλαιο 2 : Μελέτη και πιστοποίηση μοντέλων κεραιών.

2.1 : Εισαγωγή.

Στο κεφαλαίο αυτό αναλύονται και παρουσιάζονται οι διπλωματικές εργασίες που εκπονήθηκαν από την Ερευνητική ομάδα κεραιών του Δ.Π.Θ. Οι διπλωματικές αυτές πραγματεύονται θέματα που σχετίζονται με τη μελέτη και πιστοποίηση συγκεκριμένων τύπων κεραιών. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή κάθε τύπου κεραίας και παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την μελέτη της.

2.2 : Μελέτη και κατασκευή βελτιωμένης σχεδίασης μακροπεριοδικών κεραιών λεπτού σύρματος.

Οι μακροπεριοδικές κεραίες παρουσιάζουν σχεδόν αμετάβλητη αντίσταση εισόδου και απολαβή μέσα σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκάλεσαν το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών στο παρελθόν. Μια εφαρμογή μακροπεριοδικής κεραίας ήταν η MSJ, η οποία αποτελούνταν από τροποποιημένες Slim-Jim, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Η επιλογή να μελετηθεί η συγκεκριμένη κεραία οφείλεται στις αξιοσημείωτες ιδιότητες που παρουσιάζει: σχεδόν ωμική αντίσταση εισόδου και αυξημένη απολαβή, [6].

Η χρησιμοποίηση της MSJ σε μακροπεριοδική διάταξη είχε ως συνέπεια την εμφάνιση των χαρακτηριστικών της σε ένα εύρος συχνοτήτων. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε προσεγγιστικά, θεωρώντας ότι το σύρμα έχει την ίδια ακτίνα για όλα τα στοιχεία της κεραίας. Το γεγονός αυτό όμως ερχόταν σε αντίφαση με τη βασική υπόθεση σχεδίασης μακροπεριοδικών κεραιών που απαιτεί την κατασκευή των στοιχείων της κεραίας από σύρματα διαφορετικών ακτίνων. Η βελτίωση στη σχεδίαση της MSJ πραγματοποιήθη-

Σχήμα 2.1 : Στοιχεία της τροποποιημένης κεραίας Slim-Jim (MSJ) στη συχνότητα λειτουργίας f=101.8MHz.

κε με την περιγραφή της από στοιχεία διαφορετικών ακτίνων, [7]. Αυτό επιτεύχθηκε τροποποιώντας το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος του Richmond το οποίο αποτελεί και τη βάση του Προγράμματος Κοινής Ακτίνας (ΚΑ). Η τροποποίηση πραγματοποιήθηκε υπολογίζοντας κάθε φορά τους διαγώνιους υποπίνακες του πίνακα αντιστάσεων.

Ακολούθησε έλεγχος της ορθότητας του Βελτιωμένου Προγράμματος (ΒΠ) με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων που αυτό εξήγαγε. Ως δεδομένα σύγκρισης χρησιμοποιήθηκαν αυτά που αναγράφονται σε μια εργασία αναφοράς του Ma επάνω σε μακροπεριοδικές κεραίες, [8].

Η απόκλιση που παρατηρήθηκε μεταξύ των αποτελεσμάτων επέμενε να υφίσταται παρά τον εκτεταμένο έλεγχο που εφαρμόστηκε. Για να εξακριβωθεί η ορθότητα του προγράμματος λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε και ένα τρίτο πρόγραμμα σύγκρισης, το οποίο συντάχθηκε στο τμήμα Η-Μ του Πανεπιστημίου McGill. Η σύμπτωση των αποτελεσμάτων των δύο προγραμμάτων αποτέλεσε την τελική επιβεβαίωση ότι η μέθοδος που αναπτύχθηκε παραπάνω είναι σωστή.

Η μελέτη των πινάκων και διαγραμμάτων που αφορούσαν την μακροπεριοδική κεραία MSJ, φανέρωσε την ελαφρά υπεροχή της απολαβής MSJ έναντι της αντίστοιχης διπολικής και τη σχετική σταθερότητα της αντίστασης εισόδου MSJ γύρω από πραγματικές τιμές, [7].

Η σύμπτωση των χαρακτηριστικών για τις μεθόδους ΚΑ και ΒΠ αποδόθηκε στον μικρό αριθμό στοιχείων (Ν=3) της κεραίας MSJ, δηλαδή ουσιαστικά το σχετικά μικρό BW, πράγμα το οποίο είχε ως συνέπεια την ανεπαίσθητη μεταβολή των ακτίνων σε σχέση με την κοινή τιμή τους. Δυστυχώς η χωρητικότητα του ηλεκτρονικού υπολογιστή δεν επέτρεπε περιγραφές μεγαλύτερων κεραιών χωρίς την παραπέρα τροποποίηση του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος. Η τροποποίηση αυτή έπρεπε να αφορά τις γεωμετρικές συμμετρίες της κεραίας οι οποίες οδηγούσαν στην ελαχιστοποίηση του πλήθους των απαραίτητων στοιχείων του πίνακα αντιστάσεων, [7], σελ.41-46. Τέλος, τα αποτελέσματα της βελτιωμένης MSJ δεν αντιστοιχούσαν σε αυτά του μοντέλου με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Για να γινόταν κάτι τέτοιο θα έπρεπε να είχε πραγματοποιηθεί πλήρης θεωρητική μελέτη κατά τρόπο ανάλογο με αυτόν της μακροπεριοδικής κεραίας διπόλων. Ωστόσο τα αποτελέσματα για το μοντέλο αυτό είναι αρκετά ικανοποιητικά και προσεγγίζουν τα χαρακτηριστικά μιας μακροπεριοδικής κεραίας.

2.3 : Επέκταση του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος και εφαρμογή του σε μακροπεριοδικές κεραίες.

Οι μακροπεριοδικές κεραίες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αμετάβλητης αντίστασης εισόδου και απολαβής μέσα σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Διακρίνονται δύο είδη τέτοιων κεραιών ανάλογα με το κοινό ή όχι της ακτίνας του σύρματος κατασκευής. Μια άλλη διάκριση αφορά τις μεθόδους μελέτης των μακροπεριοδικών κεραιών και συνίσταται στον τρόπο θεώρησης του συστήματος τροφοδοσίας των διπόλων. Οι μέθοδοι αυτοί είναι: (α) η κλασσική μέθοδος αντιμετώπισης του συστήματος τροφοδοσίας ως κύκλωμα πολλών εισόδων και (β) η ενσωμάτωση του συστήματος τροφοδοσίας στην ακτινοβολούσα κατασκευή. Οι τεχνικές που εφαρμόζονταν ως τώρα μαζί με το Βελτιωμένο Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος (ΒΠ), που αναλύθηκε παραπάνω, κάλυπταν όλες τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν πλην της πλέον ρεαλιστικής που συνίσταται στη θεώρηση μακροπεριοδικών κεραιών διαφορετικής ακτίνας με ενσωματωμένο σύστημα τροφοδοσίας. Για την αντιμετώπιση της περίπτωσης αυτής τροποποιήθηκε το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος Κοινής Ακτίνας, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών, και παράχθηκε το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ), [9].

Το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ) ήταν μια επέκταση του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος (ΠΛΣ) για κεραίες λεπτών συρμάτων με διαφορετικές ακτίνες. Η θεώρηση συρμάτων διαφορετικής ακτίνας οδήγησε στον υπολογισμό, με τη μέθοδο των ροπών, σε μη συμμετρικό πίνακα αντιστάσεων $[\dot{z}]$.

Επεκτείνοντας τη συνθήκη λεπτότητας του σύρματος έγινε ο ισχυρισμός ότι επειδή η ακτίνα οποιουδήποτε σύρματος ήταν μικρότερη ή ίση της μεγαλύτερης των ακτίνων, η οποία με τη σειρά της ήταν πολύ μικρότερη του μήκους κύματος, η μορφή των ελεύθε-

ρων άκρων μπορούσε να αγνοηθεί. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο η μορφή των συνδέσεων συρμάτων ίδιας ή διαφορετικής ακτίνας μπορούσε επίσης να αγνοηθεί διότι η διαφορά των ακτίνων στο σημείο σύνδεσης θα ήταν μικρότερη της μεγαλύτερης ακτίνας.

Ο μη συμμετρικός πίνακας αντιστάσεων $[\dot{z}]$ που υπολογίζεται με τη μέθοδο των ροπών, οφείλεται σε συνδέσεις διαδοχικών συρμάτων διαφορετικών ακτίνων. Αν αγνοήσουμε αυτή τη διαφορετικότητα των ακτίνων, τότε δεν περιγράφουμε σωστά την κεραία που μελετάμε. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με μια ποικιλία τεχνικών που όλες αφορούσαν τρόπους συμμετρικοποίησης του πίνακα $[\dot{z}]$ με κατάλληλο υπολογισμό αμοιβαίων αντιστάσεων:

1. Υπολογισμός του πίνακα $[\dot{z}]$ μια φορά με τη μεγαλύτερη α_{max} ακτίνα και μια φορά με τη μικρότερη α_{min}. Τελικά ο πίνακας $[\dot{z}]$ προέκυπτε από τον μέσο όρο των δύο υποπινάκων που παράγονταν αντιστοίχως.
2. Υπολογισμός με θεώρηση του μέσου όρου των ακτίνων: $\alpha_{\mu} = \frac{\alpha_i + \alpha_j}{2}$, όπου α_i η ακτίνα ενός σύρματος i και α_j η ακτίνα του διαδοχικού του j.
3. Θεώρηση της μέσης τιμής των αντιστάσεων: $\dot{z}_{\mu} = \frac{\dot{z}_{ij(\alpha_i)} + \dot{z}_{ij(\alpha_j)}}{2}$, όπου $\dot{z}_{ij(\alpha_i)}$ είναι η αμοιβαία αντίσταση δύο διαδοχικών συρμάτων i και j, υπολογισμένη με ακτίνα α_i (και για τα δύο σύρματα) και $\dot{z}_{ij(\alpha_j)}$ η αμοιβαία αντίσταση των συρμάτων i και j με ακτίνα α_j.

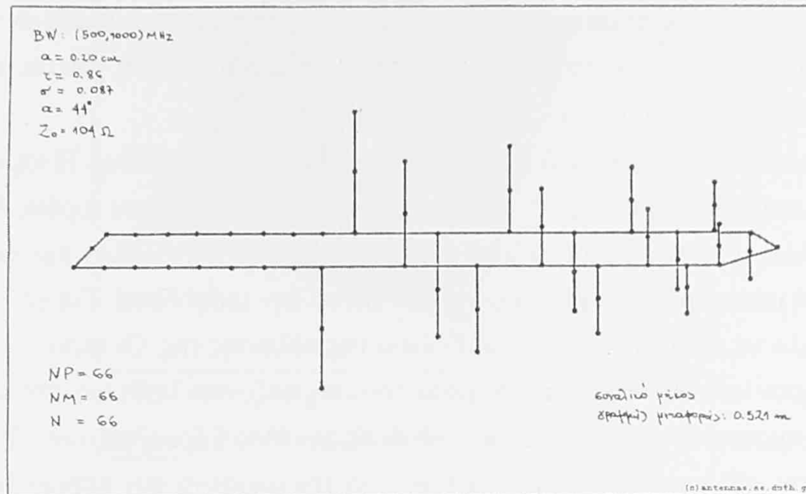
Η επαλήθευση της ορθότητας του ΠΔΑ πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του στις μακροπεριοδικές κεραίες Slim-Jim. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτού και του ΒΠ προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα δύο προγράμματα πλησιάζουν πολύ στον τρόπο που υπολογίζουν τον πίνακα αντιστάσεων, αλλά παρουσιάζουν διαφορά στην τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αμοιβαίας αντίστασης δύο διαδοχικών συρμάτων διαφορετικής ακτίνας.

Μετά την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του ΠΔΑ ακολούθησε η εφαρμογή του σε μακροπεριοδικές κεραίες όπου ουσιώδες χαρακτηριστικό της κατασκευής τους ήταν η διαφορετική ακτίνα των διπόλων, τα οποία συμετέχουν στην πραγματοποίηση τέτοιων κεραιών. Η κεραία που μελετήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Συμπερασματικά, παρατηρήθηκαν τα εξής:

1. Ο συνδυασμός της τεχνικής Isbell, [10], με τη μέθοδο ροπών που έδωσε το βελτιωμένο πρόγραμμα σχεδίασης μακροπεριοδικών κεραιών, [7], κατέληξε σε παραπλήσια αποτελέσματα με το ΠΔΑ για την αντίσταση εισόδου και την κατευθυντικότητα.
2. Η μελέτη μακροπεριοδικών κεραιών κοινής ακτίνας με το πρόγραμμα ΚΑ, [6] και με το ΠΔΑ για κοινή ακτίνα έδωσε ταυτόσιμα αποτελέσματα για την κατευθυντικότητα.
3. Η μελέτη της μακροπεριοδικής κεραίας με τη μέθοδο Ma, [8], έδωσε τιμές αντίστασης εισόδου που παράγονται με το ΠΔΑ για κοινή ακτίνα.

Οι παραπάνω επιτυχείς δοκιμές αποτέλεσαν εγγύηση καλής λειτουργίας του ΠΔΑ.



Σχήμα 2.2 : Μακροπεριοδική κεραία 8 διπόλων.

Έτσι μελετήθηκε το πρόβλημα της ανώμαλης συμπεριφοράς των μακροπεριοδικών κεραιών για έξι διαφορετικά μοντέλα ως προς την κατευθυντικότητα, τον λόγο B/F και την αντίσταση εισόδου.

Το γενικό συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη αυτή είναι: μακροπεριοδικές κεραίες κοινής ακτίνας δίνουν καλύτερη συμπεριφορά από άποψη λόγου B/F.

2.4 : Μελέτη και κατασκευή προτύπου απολαβή.

Η μέτρηση του κέρδους διαφόρων μοντέλων κεραιών κατέστησε αναγκαία τη μελέτη και κατασκευή ενός προτύπου απολαβής που θα ικανοποιούσε τον σκοπό αυτό, [11].

Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα απολαβής έπρεπε να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

i. Η απολαβή της κεραίας να είναι επακριβώς σωστή.
ii. Η απολαβή της κεραίας να είναι αρκετά σταθερή για μικρές μεταβολές των διαστάσεων της κεραίας.
iii. Η πόλωση της κεραίας να χαρακτηρίζεται γενικά ως γραμμική με μεγάλο βαθμό καθαρότητας.

Κάθε κεραία που εκπλήρωνε αυτά τα κριτήρια μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως κεραία προτύπου απολαβής. Όμως δύο είναι οι γενικά αποδεκτές κεραίες για τον σκοπό αυτό, η κεραία διπόλου και η πυραμοειδής χοάνη. Η επιλογή αυτή εξηγείται τόσο από τη

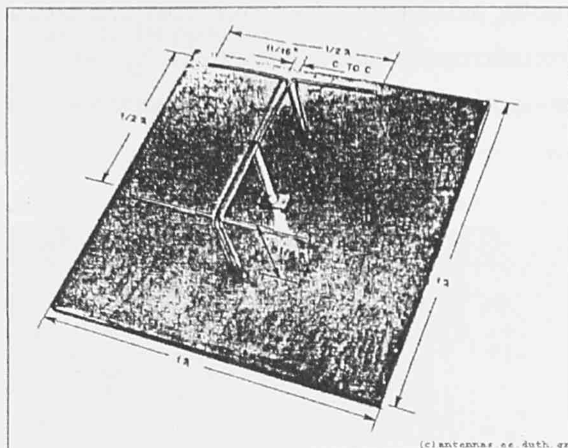
δυνατότητα επακριβούς κατασκευής όσο και από τη δυνατότητα πλήρους θεωρητικού προ-υπολογισμού της απολαβής. Η κεραία ισοσκελούς ευθύγραμμου διπόλου λεπτού σύρματος έχει, υπό συμμετρική διέγερση, ένα κέρδος περίπου 2.15dB, αν το μήκος της είναι ίσο με το μήκος κύματος λειτουργίας λ/2. (Η βαθμονόμηση γίνεται με τη ρύθμιση του μήκους του διπόλου μέχρι να επέλθει συντονισμός.)

Το δίπολο και η πυραμοειδής χοάνη είναι γραμμικά πολωμένες. Η κεραία από μόνη της έχει μεγάλο βαθμό καθαρότητας στην πόλωση, λόγω όμως του ευρέως διαγράμματος ακτινοβολίας μπορεί να επηρεάζεται πάρα πολύ από το περιβάλλον και ειδικότερα από τη γραμμή μεταφοράς που χρησιμοποιείται για να την τροφοδοτεί. Για τον λόγο αυτό είναι δύσκολο να μπουν όρια στην ανακρίβεια της πόλωσής της. Οι κεραίες πυραμοειδούς χοάνης έχουν κατευθυντικά διαγράμματα που επηρεάζονται λιγότερο από το περιβάλλον όταν χρησιμοποιούνται για μετρήσεις κέρδους, ωστόσο παρουσιάζουν κάποια ελλειπτικότητα στην πόλωση περί τον άξονά τους. Για την αποφυγή των παραπάνω ανωμαλιών σχεδιάζονται οι κατευθυντικές κεραίες, όπως οι στοιχειοκεραίες διπόλων με επίπεδο ή γωνιακό ανακλαστήρα, ή μακροπεριοδική κεραία που ρυθμίζεται για να χρησιμοποιηθεί σαν κεραία προτύπου απολαβής.

Η κεραία προτύπου κέρδους που μελετήσαμε έχει προταθεί από το Εθνικό Γραφείο Προτύπων (National Bureau of Standards). Αποτελείται από δύο σε φάση δίπολα τοποθετημένα σε απόσταση μισού μήκους κύματος (λ/2) πάνω από ένα τετραγωνικό αγώγιμο επίπεδο, πλευράς ενός μήκους κύματος (λ). Η κεραία αυτή φαίνεται στο Σχήμα 2.3. Αποτελείται από δύο δίπολα λ/2 που είναι στερεωμένα επάνω σε δύο παράλληλα τμήματα γραμμής, μήκους λ/4 τα οποία είναι βραχυκυκλωμένα. Άρα παρουσιάζουν άπειρη αντίσταση στα σημεία τροφοδοσίας των δύο διπόλων. Έτσι η παράλληλη γραμμή τροφοδοσίας φορτώνει μόνο τα δίπολα. Η ίδια γραμμή συνδέεται στο κέντρο μέσω μετασχηματιστή προσαρμογής, που αποτελείται από ομοαξονική γραμμή αέρος λ/4, προς τη τροφοδοσία του συστήματος. Επιπλέον για τη σύζευξη μη ισοσταθμισμένης γραμμής σε ισοσταθμισμένη υπάρχει τμήμα balun (bazooka) το οποίο περικλείει τον μετασχηματιστή που αναφέραμε και δε φαίνεται στη φωτογραφία. Όπως αναφέρεται η κεραία παρουσιάζει κέρδος 7.7dB με ακρίβεια $\pm$0.25dB ως προς το κέρδος του διπόλου ενώ οι σχετικές κρίσιμες διαστάσεις δίνονται συναρτήσει της συχνότητας.

Το όλο σύστημα είναι φανερό ότι κατέχει ένα πολύ σημαντικό βαθμό μηχανικής σταθερότητας που συνδυάζεται με μια πολύ καλά καθορισμένη ηλεκτρική συμπεριφορά. Συνεπώς κρίνεται εξαιρετικά ενδιαφέρουσα η μελέτη και η κατασκευή της συγκεκριμένης κεραίας.

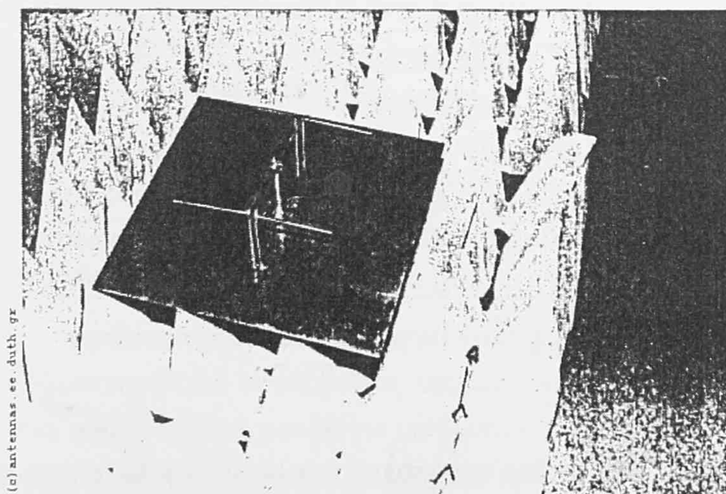
Αρχικά εφαρμόζονται η μέθοδος των εικόνων και ο πολλαπλασιασμός των διαγραμμάτων ακτινοβολίας στην ανάλυση του προτύπου απολαβής. Παράγονται έτσι σχέσεις για το πεδίο και την κατευθυντικότητα. Στη συνέχεια βελτιώνεται ο τρόπος μελέτης του προτύπου με την εφαρμογή της μεθόδου ροπών και παρατίθεται μια σειρά διαδοχικών προσεγγιστικών μοντέλων του προτύπου για την επιλογή του πιο κατάλληλου από αυτά.



Σχήμα 2.3 : Η κεραία προτύπου απολαβής.

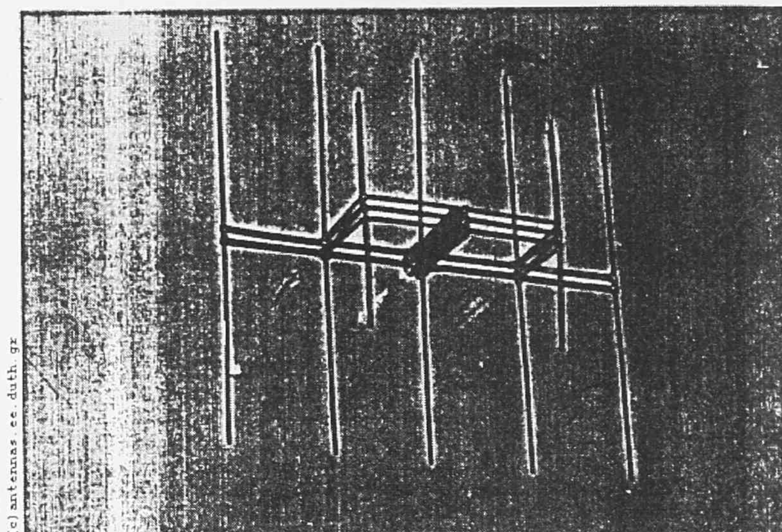
Οι διαστάσεις των προτύπων απολαβής υπολογίστηκαν υπό κλίμακα εφαρμόζοντας τη θεωρία των μοντέλων, επιλέγοντας τη συχνότητα λειτουργίας των προτύπων και λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του χώρου μετρήσεων.Για τη δεδομένη διάσταση του χώρου μετρήσεων, η οποία είναι περίπου 5 μέτρα,και για να ισχύουν οι συνθήκες ελεύθερου χώρου, που απαιτούν η διάσταση αυτή να είναι μεγαλύτερη από δέκα φορές το μήκος κύματος, η συχνότητα λειτουργίας και κατασκευής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 600MHz.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια της προσεγγίσεως των συνθηκών ελεύθερου χώρου, έγινε η συμφωνία η συχνότητα κατασκευής των προτύπων απολαβής να είναι περίπου η διπλάσια, 1111MHz.Με τη βοήθεια των παραπάνω στοιχείων κατασκευάστηκε το πρότυπο του Σχήματος 2.4.



Σχήμα 2.4 : Το πρότυπο απολαβής που κατασκευάστηκε και μελετήθηκε.

Προιόν της διαδικασίας μελέτης του προτύπου ήταν ένα επιπλέον πρότυπο το οποίο μελετήθηκε και κατασκευάστηκε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Το δεύτερο πρότυπο αποτελεί το συρμάτινο ομοίωμα του αρχικού και προέκυψε από την ανάλυση με τη μέθοδο ροπών.



Σχήμα 2.5 : Το συρμάτινο ομοίωμα που κατασκευάστηκε και μελετήθηκε.

Τα χαρακτηριστικά των προτύπων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά προτύπων	
Κεντρική συχνότητα λειτουργίας	1111MHz
Διεύθυνση μοναδικού μεγίστου	Κάθετη στο γειωμένο ανακλαστήρα
Άνοιγμα μισής ισχύος	$HP_E=HP_H=65°$
Πόλωση	Γραμμική και παράλληλη προς τα δίπολα
Δευτερεύοντες λοβοί	Αμελητέοι
Αντίσταση εισόδου	50Ω (f=1111MHz)
Απόδοση	0.99
Απολαβή	Προτύπου με επίπεδο ανακλαστήρα 9.46±0.25dB Προτύπου με συρμάτινο ανακλαστήρα 9.46±0.25dB

Πίνακας 2.1 : Τα χαρακτηριστικά των προτύπων.

Η βαθμονόμηση και των δύο προτύπων έγινε μέσα σε μία σχετικά ευρεία περιοχή συχνοτήτων και έτσι είναι πλέον δυνατή η μέτρηση απολαβής οποιασδήποτε τρίτης κεραίας με αναμενόμενη τιμή απολαβής που δε θα είναι μικρότερη από την ακρίβεια των προτύπων.

2.5 : Μελέτη της κεραίας Dopplequad

Η κεραία διπλού τετραγωνικού βρόχου (Dopplequad ή Twin Quad) επινοήθηκε από τον Karl Weiner και κατασκευάστηκε από τον ραδιοερασιτέχνη Keith Kunde. Η επιλογή της ως αντικείμενο μελέτης από την ερευνητική ομάδα κεραιών στηρίζεται στα ακόλουθα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της, σύμφωνα με τον Kunde:

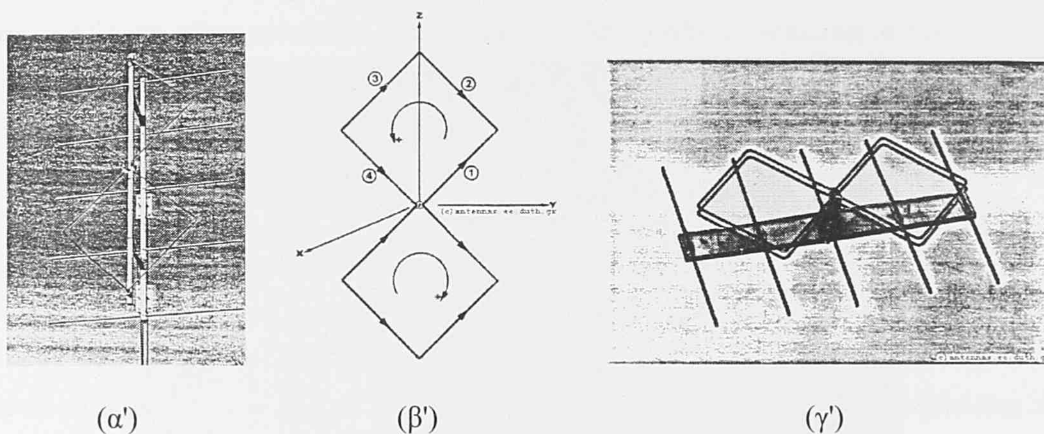
i. Οριζόντια πόλωση με στενό σχετικά κατακόρυφο εύρος λοβού
ii. Σχετικά πλατύ οριζόντιο εύρος λοβού (HP_E=70°)
iii. Αυξημένη απολαβή (G≈9dB)και ικανοποιητικό λόγο Front to Back.
iv. Συνηθισμένο σύστημα τροφοδοσίας με ομοαξονική γραμμή και χαμηλό SWR.
v. Ελαφρά, σταθερή και εύκολη κατασκευή με χαμηλή αντίσταση ανέμου.

Οι ενδιαφέρουσες αυτές ιδιότητες δικαιολογούν τη χρησιμοποίηση της κεραίας αυτής τόσο στην ερασιτεχνική επικοινωνία μέσω δορυφόρων όσο και στην επαγγελματική ραδιοφωνία στα FM.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η κεραία συνίσταται από δύο τοποθετημένους κατακόρυφα τετραγωνικούς βρόχους συνδεδεμένους παράλληλα σε μία των κορυφών τους. Πίσω βρίσκεται ένα ανακλαστικό επίπεδο αποτελούμενο από πέντε οριζόντιες ράβδους-ανακλαστήρες. Τ α τροφοδοτούμενα και τα ανακλαστικά στοιχεία στηρίζονται στα κέντρα τους πάνω σε μονωτικό ιστό. Οι οδηγούμενοι βρόχοι έχουν ο καθένας περιφέρεια ενός περίπου μήκους κύματος στη συχνότητα λειτουργίας. Σαν υλικό κατασκευής της κεραίας χρησιμοποιείται αλουμίνιο ή χαλκός. Ο αριθμός των ανακλαστήρων δεν είναι κρίσιμος αλλά το κέρδος της κεραίας μπορεί να βελτιωθεί με περισσότερα στοιχεία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεταλλική πλάκα ή ένα συρμάτινο πλέγμα αντί των ράβδων, αλλά η ελαφρά αύξηση της απολαβής αντισταθμίζεται από το μειονέκτημα της πολύπλοκης κα βαριάς κατασκευής, ιδίως όταν η κεραία κατασκευαστεί για χαμηλότερες συχνότητες της ζώνης VHF. Οι ανακλαστήρες είναι κάπως μεγαλύτεροι σε μήκος από το μισό μήκος κύματος. Το κατακόρυφο διάστημα μεταξύ των ανακλαστήρων δεν είναι κρίσιμο. Από τους ανακλαστήρες ο ένας τοποθετείται στο κέντρο του ιστού στήριξης και οι υπόλοιποι εκατέρωθεν αυτού σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (Σχήμα 2.6), [12], σελ.3.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή, ακολούθησε η μελέτη της κεραίας. Αρχικά έγινε μια θεωρητική ανάλυση για να προκύψουν τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραίας Dopplequad και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος των ροπών για να βελτιώσουμε την ανάλυση αυτή και να συμπληρώσουμε τη μελέτη της κεραίας. Η εργασία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος λεπτού σύρματος που στηρίζεται στη μέθοδο των ροπών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή της κεραίας, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Η συχνότητα κατσκευής της είναι Η συχνότητα κατασκευής των παραπάνω συστοιχιών

οδηγούμενων διπόλων είναι f=864MHz. Η τιμή αυτή οφείλεται στους περιορισμούς που εισάγονται από τη διάσταση του χώρου μετρήσεων και από τις συνθήκες ελεύθερου χώρου.



(α') (β') (γ')

Σχήμα 2.6 : Η κεραία Dopplequad. (α') Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. (β') Θεωρητικό μοντέλο. (γ') Πειραματικό μοντέλο.

2.6 : Κεραίες τύπου J

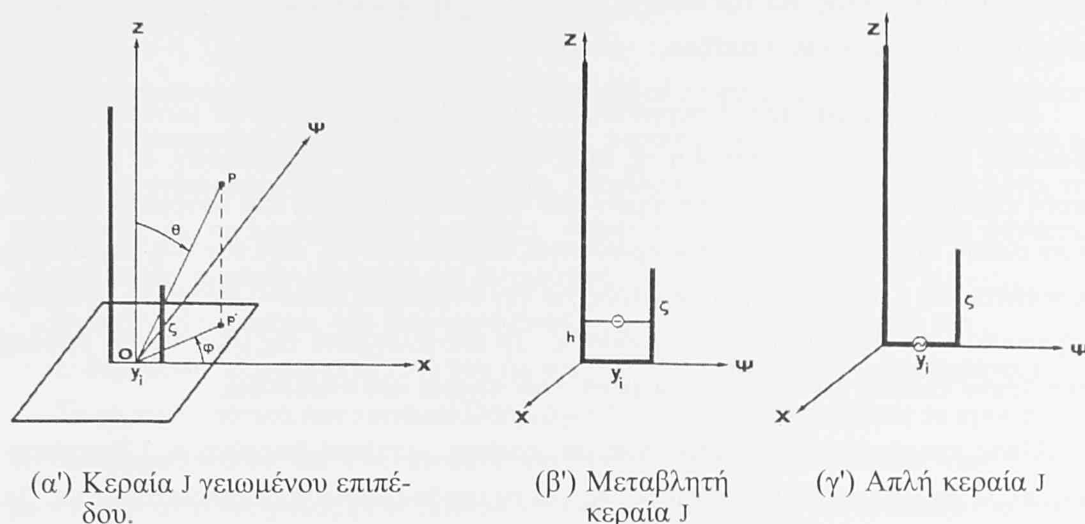
Οι κεραίες τύπου J είναι πρακτικά κατασκευασμένες παραλλαγές μονοπόλων που αντιμετωπίζουν προβλήματα στήριξης και τροφοδοσίας. Ωστόσο, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά τους. Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας κεραιών είναι το παν-κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας τους, η συνηθισμένη χαμηλή τιμή της αντίστασης εισόδου τους (περίπου 50Ω), ο μικρός χώρος εγκατάστασης που απαιτείται και η σταθερότητα της κατασκευής τους.

Μια κεραία J αποτελείται βασικά από ένα κατακόρυφο ενεργό στοιχείο που τροφοδοτείται με τη βοήθεια ενός stub προσαρμογής. Διακρίνουμε:

i. Κεραία J κάθετη σε τετράγωνο αγώγιμο επίπεδο πλευράς λ με το σημείο τροφοδοσίας της αμέσως επάνω από το επίπεδο (Σχήμα 2.7(α')) ή ”J γειωμένου επιπέδου”.
ii. Κεραία J με μεταβλητό ύψος τροφοδοσίας επάνω από τη βάση της (Σχήμα 2.7(β')) ή ”μεταβλητή J”.
iii. Κεραία J με απ' ευθείας τροφοδότηση στη βάση της με ομοαξονικό καλώδιο (Σχήμα 2.7(γ')) ή ”απλή J”.

Ο κατακόρυφος ακτινοβολητής έχει συνήθως ύψος 3λ/4, το στοιχείο προσαρμογής λ/4 και βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Το παρασιτικό στοιχείο της κεραίας J χρησιμοποιείται για να τροφοδοτεί και να προσαρμόζει τον ενεργού ύψους λ/2 ακτινοβολητή καθώς επίσης και για να απομονώνει αποτελεσματικά την οδηγούμενη άκρη του ακτινοβολητή από το έδαφος και τη γραμμή



(α') Κεραία J γειωμένου επιπέδου. (β') Μεταβλητή κεραία J (γ') Απλή κεραία J

Σχήμα 2.7 : Χαρακτηριστικές περιπτώσεις κεραιών τύπου J

τροφοδοσίας. Αυτό επιτυγχάνεται με το σχηματισμό ενός τμήματος, μήκους λ/4, παράλληλης γραμμής μεταφοράς από το παρασιτικό στοιχείο και το κατώτερο τμήμα του μονοπόλου.

Η αντίσταση εισόδου της βραχυκυκλωμένης γραμμής είναι άπειρη και έτσι οι κεραίες J μπορούν να στερεωθούν πολύ καλά πάνω σε μεταλλικό ιστό, χωρίς την ανάγκη χρήσης μονωτήρων, ιδιότητα που αντιμετωπίζει με μεγάλη επτυχία το πρόβλημα της εξωτερικής εγκατάστασης.

Τα χαρακτηριστικά των κεραιών J, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν η αφορμή για μια συστηματική μελέτη, [13], της ομάδας των τριών αυτών κεραιών. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο κάθε κεραίας προσδιορίστηκαν αρχικά τα βέλτιστα γεωμετρικά στοιχεία κατασκευής, στοιχεία για τα οποία η αντίσταση εισόδου είναι πραγματική και ίση με 50Ω.

Η συχνότητα κατασκευής για όλες τις κεραίες J και το αντίστοιχο μήκος κύματος είναι f=1000MHz και λ=30cm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές οφείλονται στους περιορισμούς που εισάγονται από τη διάσταση του χώρου μετρήσεων και από τις συνθήκες ελεύθερου χώρου. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας και για όλες τις κεραίες J το ύψος του ακτινοβολητή είναι σταθερό και ίσο με 0.2175m.

Για την κεραία J γειωμένου επιπέδου (Σχήμα 2.7(α')) οι γεωμετρικές παράμετροι της κατασκευής είναι:

i. Το ύψος του στοιχείου προσαρμογής ζ.
ii. Η απόσταση μεταξύ των στοιχείων y_i.

Για τη μεταβλητή κεραία J (Σχήμα 2.7(β')) οι γεωμετρικές παράμετροι της κατασκευής είναι ίδιες με αυτές της κεραίας J γειωμένου επιπέδου με επιπλέον το ύψος του σημείου

τροφοδοσίας h. Τέλος, για την απλή J (Σχήμα 2.7(γ')), οι παράμετροι είναι ίδιες με αυτές της κεραίας J γειωμένου επιπέδου.

Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Η μεταβολή αυτή κυμαινόταν μεταξύ οριακών τιμών που καθορίστηκαν μετά απο εφαρμογή εμπειρικών τύπων, που παρατίθενται από πρακτικούς κατασκευαστές. Από την όλη διερεύνηση προκύπτει ότι η πιο κρίσιμη παράμετρος για την αντίσταση εισόδου αφορά τη μεταβλητή κεραία J και είναι το ύψος τροφοδοσίας. Τα αποτελέσματα της μελέτης της ομάδας των τριών κεραιών ειναι συγκεντρωμένα στον πίνακα που ακολουθεί.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα οι επιλεγμένες, μετά από διερεύνηση, J διακρίνονται, παρά τις γεωμετρικές τους διαφορές, για τα σχεδόν όμοια χαρακτηριστικά τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τέτοια ώστε να τις καθιστούν προτιμητέες έναντι του άμεσα συγκρίσιμου, λόγω παρόμοιας κατασκευής, διπόλου τόσο από την άποψη της τροφοδοσίας όσο και από την άποψη της ακτινοβολίας. Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι μια προσεκτικά σχεδιασμένη κεραία J καλύπτει γενικά όλες τις απαιτήσεις μιας αποδοτικής και συγχρόνως ελαφριάς κατασκευής και έτσι συνίσταται η χρησιμοποίησή της σε κάθε ανάλογη περίπτωση.

Χαρακτηριστικά σχεδιασμένων κεραιών J	
Τοποθέτηση κατακόρυφη	Πόλωση θ γραμμική
Συχνότητα λειτουργίας	1000MHz
1. Κεραία γειωμένου επιπέδου από χαλκό ή συρμάτινο πλέγμα.	
Κατεύθυνση μεγίστου	(θ,φ)=(50,90)
Αντίσταση εισόδου	45Ω
Απολαβή	5.1dB
2. Μεταβλητή J	
Κατεύθυνση μεγίστου	(θ,φ)=(70,90)
Αντίσταση εισόδου	52Ω
Απολαβή	3.9dB
3. Απλή J	
Κατεύθυνση μεγίστου	(θ,φ)=(55,90)
Αντίσταση εισόδου	50Ω
Απολαβή	3.0dB
(Η κατεύθυνση του μεγίστου, σε όλες τις κεραίες, είναι στο επίπεδο των στοιχείων και προς την πλευρά του μικροτέρου.)	

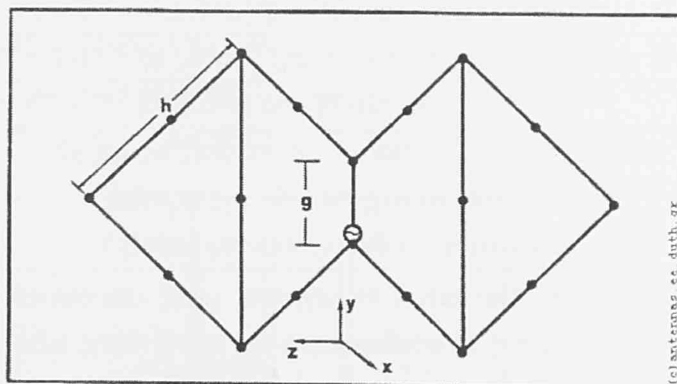
2.7 : Τροποποιημένη κεραία Dopplequad

Η τροποποιημένη κεραία Dopplequad (Modified Dopplequad-MDQ) είναι πρακτικά κατασκευασμένη παραλλαγή της γνωστής κεραίας Dopplequad και προκύπτει με προσθήκη ενδιάμεσων τμημάτων σε αυτήν. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει λόγω της εφαρμογής της σε λογαριθμικές διατάξεις. Αποτελεί το κατάλληλο στοιχείο σύνθεσης λογαριθμικών κεραιών λόγω του ότι συγχρόνως:

i. διατηρεί τις αρετές του διπόλου (εύκολη και ευσταθής κατασκευή) και
ii. θεραπεύει τα μειονεκτήματά του (μεταβολή αντιστάσεως και διαγράμματος).

Τα χαρακτηριστικά των κεραιών Dopplequad, τα οποία αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, καθώς και η δυνατότητα τροποποίησης της μορφής αυτών, ήταν η αφορμή για την ανάπτυξη ενός βελτιωμένου στοιχείου κατασκευής λογαριθμικών κεραιών, [14]. Με βάση το μοντέλο της κεραίας Dopplequad προσδιορίστηκαν τα βέλτιστα γεωμετρικά στοιχεία κατασκευής, στοιχεία για τα οποία η αντίσταση εισόδου είναι σταθερή σε όλο το εύρος μεταβολής του μήκους της πλευράς του ενός βρόχου της κεραίας ως προς το μήκος κύματοσ(λόγος h/λ).

Η μορφή της τροποποιημένης κεραίας Dopplequad(MDQ) φαίνετα ι στο Σχήμα 2.8 και προκύπτει μετά από μελέτη των επιδόσεων μιας σειράς διαδοχικών τροποποιούμενων μοντέλων της αρχικής DQ.



Σχήμα 2.8 : Τελική μορφή της MDQ

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 σε κάθε ένα από τα δύο τετραγωνικά πλαίσια της DQ έχουν τοποθετηθεί ενδιάμεσα ευθύγραμμα σύρματα παράλληλα και συμμετρικά ως προς το διάκενο τροφοδοσίας g. Η επιλογή της συγκεκριμένης θέσης έχει προκύψει μετά από μελέτη της κεραίας για τις διάφορες διαδοχικές θέσεις που παίρνουν τα στοιχεία αυτά καθώς μετακινούνται παράλληλα προς εαυτά και συμμετρικά προς το g.

Η συχνότητα κατασκευής της MDQ είναι f=900MHz. Η τιμή αυτή οφείλεται στους περιορισμούς που εισάγονται από τη διάσταση του χώρου μετρήσεων και από τις συνθήκες ελεύθερου χώρου. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα

του σύρματος είναι α=0.003m και το διάκενο τροφοδοσίας g=0.006m, τιμές οριακές σύμφωνα με τους περιορισμούς της μεθόδου ροπών (α0.01λ).

Για την τροποποιημένη κεραία Dopplequad (Σχήμα 2.8) οι γεωμετρικές παράμετροι της κατασκευής είναι:

i. Το διάκενο τροφοδοσίας g.
ii. Η θέση του σημείου τροφοδοσίας.
iii. Ο αριθμός των τμημάτων στα οποία διαιρείται το μοντέλο.

Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Η μεταβολή αυτή κυμαινόταν μεταξύ οριακών τιμών που καθορίστηκαν μετά απο εφαρμογή εμπειρικών τύπων, που παρατίθενται από πρακτικούς κατασκευαστές. Από την όλη διερεύνηση προκύπτει ότι η πιο κατάλληλη παραμετρική ως προς h οικογένεια κεραιών MDQ θα πρέπει να έχει τα χρακτηριστικά του πίνακα που ακολουθεί.

Χαρακτηριστικά οικογένειας κεραιών MDQ	
Συχνότητα λειτουργίας	900MHz
Μήκος κύματος	0.333m
Ακτίνα α	0.003m
Διάκενο g	0.006m
Κατεύθυνση μεγίστου	(θ,φ)=(90,0)
Γωνία μισής ισχύοσ(για σάρωση της γωνίας θ)	HP_θ=54°
Γωνία μισής ισχύοσ(για σάρωση της γωνίας φ)	HP_ϕ=76°
Απολαβή (για h=0.40λ)	6.75dB
(Η κατεύθυνση του μεγίστου, σε όλες τις κεραίες, είναι κάθετα στο επίπεδο της κεραίας (δεν υπάρχουν δευτερεύοντες λοβοί).)	

Όπως προκύπτει από τον πίνακα η επιλεγμένη, μετά από διερεύνηση, οικογένεια κεραιών MDQ διακρίνεται, για τη σταθερότητα της αντίστασης εισόδου στο επιθυμητό εύρος λειτουργίας και για το γεγονός ότι έχουμε γραμμική φ-πόλωση και μέγιστο λοβού στον άξονα Ox κάθετα στο επίπεδο της κεραίας. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τέτοια ώστε να καθιστούν την τροποποιημένη κεραία Dopplequad προτιμητέα, έναντι του άμεσα συγκρίσιμου διπόλου, για τη χρησιμοποίησή της ως στοιχείο κατασκευής μιας λογαριθμικής μακροπεριοδικής κεραίας.

2.8 : Μικτές συστοιχίες διπόλων

Οι μικτές συστοιχίες διπόλων (ΜΣΔ) είναι κεραίες που αποτελούνται από μικτά στοιχεία, δηλαδή από βραχυκυκλωμένα και ανοιχτοκυκλωμένα στοιχεία. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν λόγω της εφαρμογής τους σε ''συστήματα διαφορικής μεταλλαγής'', τα οποία χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των διαλείψεων. Με τον όρο

"διαλείψεις" εννοούμε την ανεπιθύμητη και γενικά ακανόνιστη χρονική αλλαγή που εμφανίζεται στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του διαδιδόμενου ραδιοκύματος. Η αλλαγή της έντασης προκαλεί έντονες διαταραχές στις ραδιοεπικοινωνίες και αρκετές φορές επιφέρει τη διακοπή τους, πράγμα που καθιστά μια επικοινωνία προβληματική. Επίσης, με τον όρο συστήματα διαφορικής μεταλλαγής εννοούμε μια συστοιχία της οποίας το ενεργό δίπολο επιλέγεται, από ένα σύνολο διαθέσιμων στοιχείων, με ένα σύστημα αυτοματισμού. Επειδή, όμως, σε καθε χρονική στιγμή η κεραία του συστήματος χρησιμοποιεί μόνο ένα από τα στοιχεία της, παρουσιάζει χαμηλή κατευθυντικότητα, γεγονός που δε συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος των διαλείψεων.

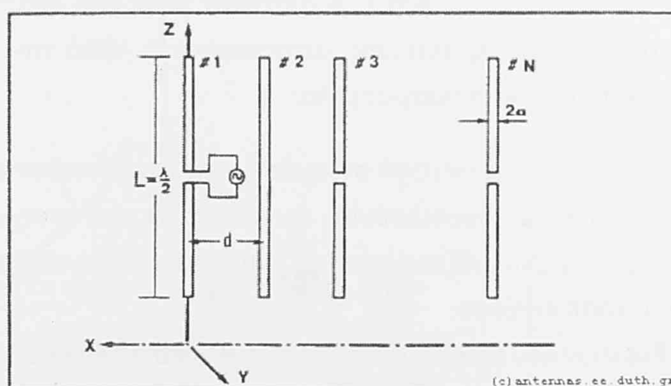
Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της μικτής συστοιχίας διπόλων είναι η υψηλή κατευθυντικότητα, η οποία οφείλεται στη βραχυκύκλωση κατάλληλων στοιχείων της κεραίας. Η ύπαρξη βραχυκυκλωμένων, δηλαδή ισχυρώς παρασιτικών, στοιχείων μαζί με την μεταλλαγή του ενεργού στοιχείου, αντιμετωπίζει στο μεγαλύτερο βαθμό το πρόβλημα των διαλείψεων.

Μια μικτή συστοιχία διπόλων είναι μια επίπεδη συστοιχία $N \geq 2$ ευθυγράμμων, ισοσκελών και ακριβώς παραλλήλων διπόλων (Σχήμα 2.9), η οποία περιλαμβάνει:

i. Ένα μόνο ενεργό δίπολο και
ii. $N-1 \geq 1$παρασιτικά δίπολα από τα οποία:
   α. M είναι ανοιχτοκυκλωμένα δίπολα και
   β. $N-(M+1)$ είναι βραχυκυκλωμένα δίπολα.

Ακραίες περιπτώσεις ΜΣΔ αποτελούν οι συστοιχίες διπόλων με:

i. Ένα ενεργό και τα υπόλοιπα βραχυκυκλωμένα, και
ii. Ένα ενεργό και τα υπόλοιπα ανοιχτοκυκλωμένα.



Σχήμα 2.9 : Μικτή συστοιχία διπόλων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9 η μικτή συστοιχία διπόλων μπορεί να πάρει πλήθος διαφορετικές μορφές που προκύπτουν από:

i. από την επιλογή της θέσης του τροφοδοτούμενου διπόλου, και για κάθε τέτοια θέση

ii. από όλες τις διαφορετικές επαναληπτικές μεταθέσεις των M ανοιχτοκυκλωμένων και (N-1)-M βραχυκυκλωμένων διπόλων, όπου 0≤M≤N-1, δηλαδή από το άθροισμα των διαφορετικών συνδιασμών των (N-1) ανά M.

έχουν τοποθετηθεί ενδιάμεσα ευθύγραμμα σύρματα παράλληλα και συμμετρικά ως προς το διάκενο τροφοδοσίας g. Η επιλογή της συγκεκριμένης θέσης έχει προκύψει μετά από μελέτη της κεραίας για τις διάφορες διαδοχικές θέσεις που παίρνουν τα στοιχεία αυτά καθώς μετακινούνται παράλληλα προς εαυτά και συμμετρικά προς το g.

Η συχνότητα κατασκευής της ΜΣΔ είναι f=900MHz. Η τιμή αυτή οφείλεται στους περιορισμούς που εισάγονται από τη διάσταση του χώρου μετρήσεων και από τις συνθήκες ελεύθερου χώρου. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.003m, δηλαδή τέτοια ώστε α/λ=0.009, τιμή οριακή σύμφωνα με τους περιορισμούς της μεθόδου ροπών (α0.01λ).

Για μικτή συστοιχία διπόλων (Σχήμα 2.9) οι γεωμετρικές παράμετροι της κατασκευής είναι:

i. Η απόσταση των διπόλων d ανά μήκος κύματοσ(λ).
ii. Η θέση του σημείου τροφοδοσίας.
iii. Ο αριθμός των τμημάτων στα οποία διαιρείται το μοντέλο.

Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβλήθηκαν για την κάθε περίπτωση οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων, όπως και οι θέσεις των ανοιχτοκυκλωμένων και βραχυκυκλωμένων διπόλων. Η μεταβολή αυτή κυμαινόταν μεταξύ οριακών τιμών που καθορίστηκαν μετά απο εφαρμογή εμπειρικών τύπων, που παρατίθενται από πρακτικούς κατασκευαστές. Από την όλη διερεύνηση, [15], προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

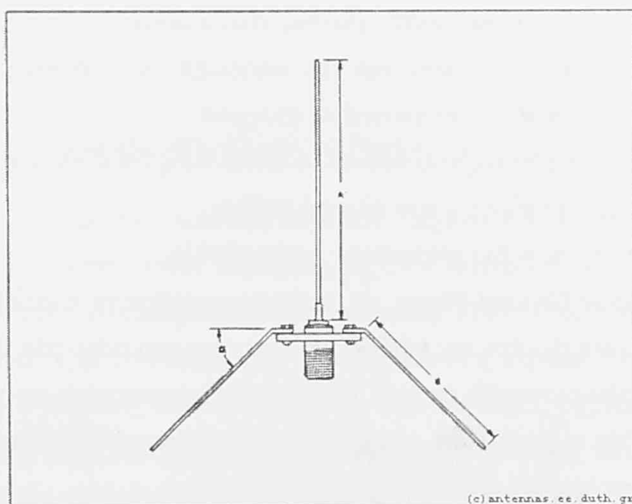
i. Τα ανοιχτοκυκλωμένα παρασιτικά στοιχεία δρουν ως κατευθυντήρες.
ii. Συστοιχίες διπόλων που αποτελούνται αποκλειστικά από ανοιχτοκυκλωμένα παρασιτικά στοιχεία παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή κατευθυντικότητα αλλά σχεδόν σταθερή αντίσταση εισόδου.
iii. Συστοιχίες διπόλων που προέρχονται από κατάλληλο συνδιασμό ανοιχτοκυκλωμένων και βραχυκυκλωμένων παρασιτικών στοιχείων παρουσιάζουν αυξημένη κατευθυντικότητα.
iv. Η πρόσθεση ενός επιπλέον ανοιχτοκυκλωμένου παρασιτικού στοιχείου σε μια ήδη υπάρχουσα ΜΣΔ δεν επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση εισόδου της.

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει μια μικτή συστοιχία διπόλων είναι τέτοια ώστε να την καθιστούν προτιμητέα, για τη χρησιμοποίησή της σε συστήματα διαφορικής μεταλλαγής, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των διαλείψεων.

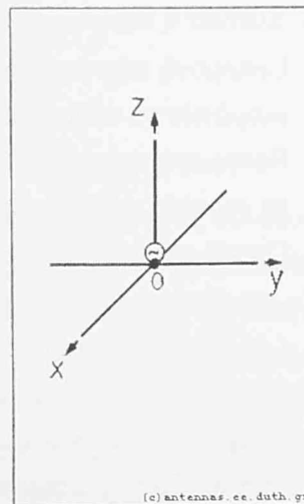
2.9 : Η κεραία Ground Plane.

Η κεραία Ground Plane είναι μια ευρέως διαδεδομένη κεραία ιδιαίτερα ως πρώτη επιλογή κατά το στάδιο της αρχικής εγκατάστασης ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας. Οι λόγοι της προτίμησης αυτής φαίνεται ότι είναι το χαμηλό κόστος, η απλότητα στην κατασκευή, το μικρό βάρος σε συνδυασμό με την καλή μηχανική συμπεριφορά, η ευκολία στην τοποθέτηση και η δυνατότητα να συντονιστεί με μεταβολή των βασικών κατασκευαστικών στοιχείων της, έτσι ώστε να παρουσιάζει τιμή αντίστασης εισόδου η οποία είναι κατάλληλη για την προσαρμογή της κεραίας στις, τυποποιημένης τιμής αντίστασης των 50Ω, τηλεπικοινωνιακές συσκευές.

Μια κεραία Ground Plane είναι βασικά μια κάθετη κεραία ημίσεως κύματος που τροφοδοτείται στο κέντρο, με το κάτω μισό του διπόλου διαιρεμένο σε ξεχωριστά τμήματα που έχουν μεταφερθεί στο οριζόντιο επίπεδο. Το κάθετο τμήμα λειτουργεί ως η κεραία(κάθετος ακτινοβολητής), ενώ τα οριζόντια ή ακτινωτά στοιχεία(γειωμένα στοιχεία) σχηματίζουν ένα τεχνητό επίπεδο γείωσης (Σχήμα 2.10(α')). Η τάση και το ρεύμα στην κεραία μοιράζονται εξίσου μεταξύ των ακτινωτών στοιχείων, τα οποία διαμορφώνουν ένα συντονιζόμενο σύστημα που μπορεί είτε να διεγερθεί είτε να αποσυντονιστεί από γειτονικά αντικείμενα. Η κεραία Ground Plane θεωρείται ότι έχει ένα ισο-κατευθυντικό, οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας καιμια χαμηλή γωνία ακτινοβολίας.



(α') Η απλή κεραία Ground Plane και τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία κατασκευής της.



(β') Η ορθογώνια κεραία Ground Plane.

Σχήμα 2.10 : Βασικές μορφές της κεραίας Ground Plane.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10(α') τα άκρα των ακτινωτών στοιχείων είναι υποβιβασμένα. Αυτό οφείλεται στην αναγκή προσαρμογής της ανυψωμένης κεραίας Ground

Plane στα 50Ω. Εάν τα ακτινωτά στοιχεία βρίσκονται όλα σε ένα μόνο οριζόντιο επίπεδο, η αντίσταση του σημείου τροφοδοσίας της κεραίας είναι περίπου 36Ω. Κατεβάζοντας τα ακτινωτά στοιχεία έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των 90° με τον κάθετο ακτινοβολητή, αυξάνει η αντίσταση του σημείου τροφοδοσίας. Στην οριακή περίπτωση, όταν τα ακτινωτά στοιχεία σχηματίζουν γωνία 180° με τον ακτινοβολητή(τα ακτινωτά στοιχεία περιβάλλουν την τροφοδοσία έτσι ώστε να διαμορφώσουν έναν μανδύα), η αντίσταση του σημείου τροφοδοσίας γίνεται 72Ω. Γωνίες μεταξύ 90° και 180° θα παρουσιάζουν αντίσταση μεταξύ 36Ω και 72Ω. Γωνίες της τάξης των 135° παρέχουν καλή προσαρμογή με ομοαξονική γραμμή 50Ω.

Ως αντικείμενο θεωρητικής μελέτης, [16], χρησιμοποιήθηκε αρχικά η κεραία του Σχήματος 2.10(β'). Πρόκειται για μια ορθογώνια κεραία Ground Plane, η οποία αποτελείται από πέντε ευθύγραμμα στοιχεία μήκους λ/4 σε ορθογώνια διάταξη. Το σύρμα κατασκευής της κεραίας με τη μη μηδενική ακτίνα έχει αντικατασταθεί από νηματοειδή στελέχη ίσου μήκους επί του άξονα του αρχικού σύρματος. Το ομοαξονικό καλώδιο τροφοδοσίας μαζί με τον πομπό έχει μοντελοποιηθεί ως κυκλωματική πηγή "σημειακών διαστάσεων", η οποία και παρίσταται σχηματικά μεγενθυμένη στη θέση σύνδεσης καλωδίου-κεραίας στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι για υπολογιστικούς λόγους θεωρήθηκε τεχνητά και ένα έκτο στοιχείο τοποθετημένο αντίθετα προς το ενεργό στέλεχος.

Αναλυτικά η θεωρητικά μελέτη του πεδίου ακτινοβολίας περιλαμβάνει:

α. Εφαρμογή της τεχνικής της μεθόδου ροπών για την απόδειξη της ισότητας των ρευμάτων τα οποία διαρρέουν τα τέσσερα γειωμένα στοιχεία.

β. Εφαρμογή του γενικού τύπου έκφρασης του πεδίου ακτινοβολίας σε κάθε ένα από τα στοιχεία και υπέρθεση για την εύρεση του ολικού πεδίου.

γ. Γενική μελέτη της συνάρτησης του Διαγράμματος Ακτινοβολίας.

Τα χαρακτηριστικά των κεραιών Ground Plane, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν η αφορμή για μια συστηματική μελέτη της ομάδας αυτών των κεραιών. Με βάση το θεωρητικό τους μοντέλο προσδιορίστηκαν αρχικά τα βέλτιστα γεωμετρικά στοιχεία κατασκευής, στοιχεία για τα οποία η αντίσταση εισόδου είναι πραγματική και ίση με 50Ω και η απολαβή διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Η συχνότητα κατασκευής της κεραίας Ground Plane είναι f=900MHz. Η τιμή αυτή οφείλεται στους περιορισμούς που εισάγονται από τη διάσταση του χώρου μετρήσεων και από τις συνθήκες ελεύθερου χώρου . Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.000566m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ(α0.01λ).

Για την ορθογώνια κεραία Ground Plane (Σχήμα 2.10(β')) οι γεωμετρικοί παράμετροι της κατασκευής είναι:

i. Η γωνία κλίσης α των τεσσάρων γειωμένων στοιχείων από το επίπεδο xOy.

ii. Ο αριθμός των γειωμένων στοιχείων.

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχει διερευνηθεί και η περίπτωση όπου η γωνία κλίσης είναι σταθερή και ίση με 0ο, ενώ μεταβάλλεται η συχνότητα της κεραίας, διατηρώντας όμως το μήκος των στοιχείων σταθερό υπολογισμένο για συχνότητα λειτουργίας f=900MHz.

Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Η μεταβολή αυτή κυμαινόταν μεταξύ οριακών τιμών που καθορίστηκαν μετά απο εφαρμογή εμπειρικών τύπων, που παρατίθενται από πρακτικούς κατασκευαστές. Από την όλη διερεύνηση προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

i. Η λειτουργία της Ground Plane εξηγείται πλήρως με τον συνυπολογισμό της παρουσίας των ακτινωτών στοιχείων της βάσης.

ii. Η θεωρητική και υπολογιστική μελέτη έδειξε ότι το πεδίο ακτινοβολίας είναι ισοκατευθυντικό, η τιμή της κατευθυντικότητας δεν ξεπερνάει αυτή του ενός διπόλου λ/2 και ότι είναι δυνατόν να πετύχουμε συντονισμό της εν λόγω κεραίας πολύ κοντά στα 50Ω.

iii. Η σύγκριση θεωρητικών, υπολογιστικών και πειραματικών κατέδειξε τη συμφωνία μεταξύ τους.

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει μια κεραία Ground Plane είναι τέτοια ώστε να την καθιστούν προτιμητέα, για τη χρησιμοποίησή της σε ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας.

2.10 : Μελέτη παράλληλης διάταξης κεραιών Yagi.

Η παράλληλη διάταξη κεραιών Yagi(στοίβα κεραιών Yagi) είναι ενας συνδυασμός δύο ή περισσοτέρων κεραιών Yagi, σε παράλληλη διάταξη, με κοινή τροφοδοσία, σε διάφορους γεωμετρικούς συνδυασμούς, [17]. Όπως προκύπτει και από την ονομασία της διάταξης το δομικό της στοιχείο είναι η κεραία Yagi-Uda, αφού αυτή είναι ευρύτατα διαδεδομένη, κάνοντας έτσι το όλο σύστημα, σχετικά προσιτό, από άποψη κόστους, εφόσον βέβαια, κριθεί κατάλληλο, για την κάλυψη των προδιαγραμμένων απαιτήσεων. Οι λόγοι προτίμησης της εν λόγω κεραίας είναι το μεγάλο κέρδος, ο καλός συντελεστής "Front-to-Back Ratio"(FBR) και ένα σχετικά ελεγχόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας με μικρές σχετικά γωνίες ανοίγματος (Beam Width). Η παράλληλη διάταξη αυτών εξασφαλίζει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα.

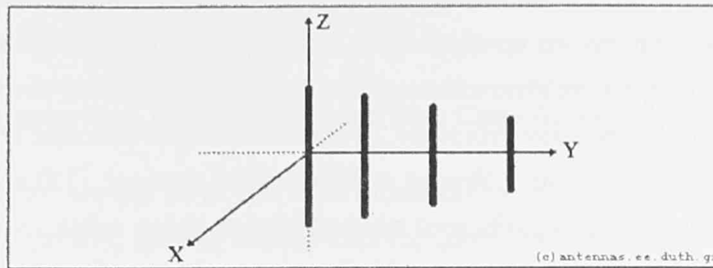
Μια κεραία Yagi-Uda αποτελείται από ένα τροφοδοτούμενο στοιχείο και αρκετά παρασιτικά, τα οποία είναι παράλληλα στο ενεργό δίπολο και βρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη με αυτό (Σχήμα 2.11(α')). Μερικά από τα παρασιτικά(βοηθητικά) στοιχεία, χρησιμεύουν από ηλεκτρική άποψη, σαν καθρέφτεσ(ανακλαστήρες) και άλλα σα μεγενθυντικοί φακοί (κατευθυντήρες). Για να λειτουργήσει ένα παρασιτικό στοιχείο, είτε σαν

ανακλαστήρας, είτε σαν κατευθυντήρας, θα πρέπει να έχει, τόσο συγκεκριμένη απόσταση από το ενεργό δίπολο, όσο και συγκεκριμένο μήκος και ακτίνα. Έτσι, γενικά, το παρασιτικό στοιχείο που θέλουμε να λειτουργεί σαν ανακλαστήρας, θα πρέπει να έχει αυτεπαγωγική συμπεριφορά και συνεπώς το ηλεκτρικό του μήκος θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερο από το ηλεκτρικό μήκος που αντιστοιχεί στη συχνότητα συντονισμού (λειτουργίας). Για να λειτουργήσει σαν κατευθυντήρας, θα πρέπει να παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά και συνεπώς θα πρέπει να έχει μικρότερο ηλεκτρικό μήκος από το ηλεκτρικό μήκος λ/2 του ενεργού διπόλου. Η σκοπιμότητα του ανακλαστήρα, είναι να βελτιώσει τον λόγο FBR (να μειώσει τις παρεμβολές από πίσω), ενώ του κατευθυντήρα είναι να κάνει πιο οξύ τον κύριο λοβό, μειώνοντας τη γωνία μισής ισχύος. Το κέρδος, το διάγραμμα ακτινοβολίας και η σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας Yagi-Uda, καθορίζονται από τα σχετικά πλάτη και τις φάσεις των ρευμάτων που τρέχουν σε όλα τα στοιχεία της διάταξης (είτε παρασιτικά, είτε ενεργά). Πρέπει να σημειωθεί, ότι για να έχει μια κεραία κέρδος, απαιτείται να συγκεντρώνει την ενέργεια ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και να μειώνει την ακτινοβολούμενη ενέργεια προς τις άλλες κατευθύνσεις. Κατά συνέπεια, το κέρδος είναι στενά συνδεδεμένο, τόσο με το κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας, όσο και με τις απώλειες αυτής.

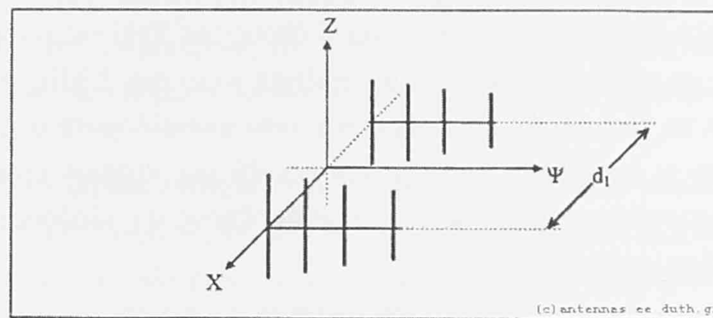
Η κεραία Yagi-Uda μπορεί να θεωρηθεί σαν γεννήτορας για την παραγωγή μιας στοίβας ομοίων κεραιών. Αυτή τη διάταξη-γεννήτορα τη θεωρούμε σαν ένα "κουτί" (δομικό στοιχείο), στο οποίο δε μπορεύμε να επέμβουμε και να αλλάξουμε κάποια από τα (γεωμετρικά ή ηλεκτρικά)χαρακτηριστικά της και κατ' επέκταση το διάγραμμα ακτινοβολίας αυτής. Για υπολογιστικούς λόγους θεωρούμε ότι η κεραία αποτελείται από όμοια δίπολα (παράλληλη μετατόπιση του διπόλου-γεννήτορα, άρα ίδιο μήκος, και ίδια ρευματική κατανομή). Το κουτί, χαρακτηρίζεται ως προς τη στοίβα, σαν η διάταξη αναφοράς από την οποία προκύπτει η παράλληλη διάταξη του Σχήματος 2.11(β'), με μετατοπίσεις ανά σταθερά διαστήματα πάνω σε μια ευθεία γραμμή, των ακτινοβολούντων διατάξεων(κουτιών), με τροφοδοσία ίδιου πλάτους και σταθερή διαφορά φάσης μεταξύ τους.

Η θεωρητική μελέτη της διάταξης του Σχήματος 2.11(β') απέδειξε ότι, [17], σελ.2-12,15 για να πετύχουμε τη μέγιστη κατευθυντικότητα της στοίβας, θα πρέπει να τροφοδοτούνται όλες οι κεραίες ακριβώς συμφασικά, κάτι βέβαια που γίνεται πολύ δύσκολο με την αύξηση του πλήθους των κεραιών, προκειμένου τόσο να καλύψουμε τις απαιτήσεις κέρδους, όσο και να μην χάνουμε ενέργεια προς κατευθύνσεις που δε μας ενδιαφέρουν. Αν θέλουμε να πετύχουμε "περιστροφή" των λοβών της στοίβας με ηλεκτρονικό τρόπο, είναι απαραίτητο τα δομικά στοιχεία να τροφοδοτούνται με διαφορά φάσης. Στην περίπτωση αυτή η τιμή της κατευθυντικότητας είναι μειωμένη.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της στοίβας όμοιων κεραιών Yagi-Uda, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν η αφορμή για μια πιο αναλυτική μελέτη της ομάδας αυτών των κεραιών, με τη βοήθεια κυρίως υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι



(α') Κεραία Yagi-Uda, η οποία αποτέλεσε τον γεννήτορα για την παραγωγή στοίβας όμοιων κεραιών.



(β') Στοίβα όμοιων κεραιών Yagi.

Σχήμα 2.11 : Γεννήτορας και στοίβα όμοιων κεραιών Yagi συμφασικά τροφοδοτούμενες.

το πρόγραμμα λεπτού σύρματος, το οποίο αποτελεί μέτρο σύγκρισης για οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα συντάσσεται για τη διάταξη που μελετάται κάθε φορά. Με βάση τη θεωρητική μελέτη προσδιορίστηκαν αρχικά οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες το κέρδος διατηρείται σε υψηλά επίπεδα και το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι πιο στενό, σε συνδυασμό πάντα με το χαμηλό κόστος.

Για την παράλληλη διάταξη κεραιών Yagi οι παράμετροι που επηρεάζουν το κέρδος και το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι:

i. Η απόσταση διαχωρισμού των κεραιών που συνιστούν τη στοίβα.
ii. Το πλήθος των κεραιών αυτής.
iii. Η συχνότητα λειτουργίας.
iv. Ο τρόπος διάταξης των κεραιών της στοίβας στον χώρο.

Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Η μεταβολή αυτή κυμαινόταν μεταξύ οριακών τιμών που καθορίστηκαν μετά απο εφαρμογή εμπειρικών τύπων. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε και κατασκευαστική μελέτη μερικών από τα συρμάτινα μοντέλα που αναλύθηκαν στο στάδιο της υπολο-

γιστικής μελέτης. Από την όλη διερεύνηση προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Όταν θέτουμε σαν πρώτο κριτήριο στην επιλογή του συστήματος-κεραίας απλά το κέρδος, τότε η πρώτη προσπάθεια κάλυψης των απαιτήσεων κέρδους γίνεται με τη χρήση της κεραίας Yagi-Uda πολλών στοιχείων, [17],σελ.4-18. Εάν θέλουμε λίγο μεγαλύτερο κέρδος, χρησιμοποιούμε κεραία Yagi με πολλούς ανακλαστήρες, [17],σελ.4-5,17. Όταν ακόμη δεν πετυχαίνουμε το επιθυμητό κέρδος, τότε η πλέον ενδεδειγμένη λύση είναι η χρήση παράλληλης διάταξης κεραιών Yagi συμφασικά τροφοδοτούμενες. Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε, σε σχέση με το πλήθος των κεραιών Yagi της στοίβας, θεωρητικά τουλάχιστον, είναι ότι κέρδος αυξάνεται περίπου κατά 3dBi, [17],σελ.4-17, κάθε φορά που διπλασιάζεται το πλήθος των κεραιών Yagi που αποτελούν τη στοίβα. Αυτό, ισχύει πολύ καλά, όταν η αύξηση του πλήθους των Yagi της στοίβας, γίνεται σε δύο διαστάσεις, το κέρδος παρουσιάζει μια αύξηση γύρω στα 2.9dBi, για κάθε διπλασιασμό. Πρέπει να τονιστεί ότι τα αριθμητικά αυτά αποτελέσματα αντιστοιχούν στην περίπτωση, όπου οι αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των κεραιών είναι οι βέλτιστες, ενώ με άλλες αποστάσεις διαχωρισμού ο ρυθμός αύξησης του κέρδους (με το πλλήθος των κεραιών) είναι μικρότερος.

Στην περίπτωση που στην επιλογή του συστήματος-κεραίας μας ενδιαφέρει το διάγραμμα ακτινοβολίας και συγκεκριμένα το στένεμα του λοβού με ελεγχόμενο τρόπο τότε αρχικά γίνεται χρήση κεραίας Yagi-Uda πολλών στοιχείων. Αυξάνοντας το πλήθος των στοιχείων μπορούμε να στενεύουμε τον κυρίως λοβό (να μικραίνουμε τη γωνία μισής ισχύος), είτε μόνο ως προς το Ε-επίπεδο, είτε μόνο ως προς το Η-επίπεδο, είτε και ως προς τα δύο επίπεδα. Το διάγραμμα ακτινοβολίας στενεύει (γίνεται οξύτερο) (σε σχέση με αυτό της απλής Yagi), ως προς το επίπεδο εκείνο, όπου ανήκει ο άξονας της στοίβας, ενώ ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονα αυτής, το διάγραμμα παραμένει αμετάβλητο όταν αναφερόμαστε σε στοίβες μιας διάστασης. Στην περίπτωση που οι στοίβες είναι δύο διαστάσεων, πετυχαίνουμε στένεμα του διαγράμματος ακτινοβολίας και ως προς τα δύο επίπεδα, αφού μια τέτοια διάταξη αποτελεί προφανώς γενίκευση της στοίβας μιας διάστασης. Η οξύτητα του διαγράμματος ακτινοβολίας είναι ανάλογη του πλήθους των κεραιών Yagi που συνιστούν τη στοίβα.

Τέλος, σε μια στοίβα με συγκεκριμένο πλήθος ομοίων κεραιών, πετυχαίνουμε μεγιστοποίηση του κέρδους, όταν οι αποστάσεις διαχωρισμού (μεταξύ των κεραιών), κυμαίνονται από 1.5λ έως 2λ. Αν επιθυμούμε όμως ελάχιστους παράπλευρους λοβούς στη χαρακτηριστική της στοίβας όμοιων κεραιών, η απόσταση διαχωρισμού πρέπει να είναι 0.9λ.

Μετά από μια εκτενή μελέτη, τελικά προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παράλληλη διάταξη κεραιών Yagi μπορεί να παρουσιάσει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, για να την καταστήσουν κατάλληλη για πολλές εφαρμογές, μόνο όταν πραγματοποιηθεί μια καλή θεωρητική μελέτη-διερεύνηση, η οποία θα οδηγήσει τόσο στην κατάλληλη προδιαγραφή των κατασκευαστικών παραγόντων, όσο και στη βελτιστοποίηση των συνιστωσών και

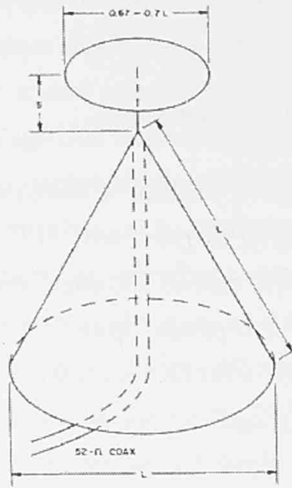
τελικά σε μια προσεκτική κατασκευή.

2.11 : Η Δισκοκωνική Κεραία (Skeleton Disc Cone Antenna).

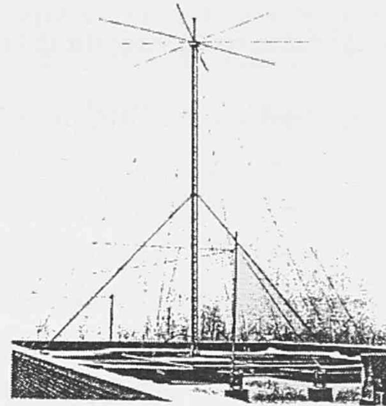
Η δισκοκωνική κεραία είναι μια κάθετα πολωμένη κεραία, η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη ως γενικής χρήσης κεραία ευρείας ζώνης συχνοτήτων, [18]. Πλεονεκτεί στο ότι μπορεί να λειτουργήσει μακριά και ανεξάρτητα από το έδαφος. Επιπλέον, αφού, λόγω της κατασκευής της (Σχήμα 2.12(α')), το μέγιστο ρεύμα βρίσκεται στην κορυφή αντί στη βάση της κεραίας και η όλη διάταξη συσσωρεύεται σε έναν πόλο ή στην κορυφή ενός κτιρίου, τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της μπορεί να προσεγγίσουν ένα δίπολο στον ελεύθερο χώρο. Η μεταβολή της αντίστασης όμως με τη συχνότητα είναι πολύ μικρότερη από ένα οποιοδήποτε δίπολο, ακόμα και για δίπολα με πολύ μικρότερο λόγο μήκους-διαμέτρου.

Η δισκοκωνική κεραία διατηρεί έναν χαμηλό λόγο στάσιμων κυμάτων (SWR), της τάξης του 1.5:1 ή και λιγότερο, για μερικές οκτάβες συχνοτήτων. Κάτω από τη συχνότητα για την οποία η κεραία έχει σχεδιαστεί, ο λόγος αυτός αυξάνεται γρήγορα, αλλά εντός της "περιοχής λειτουργίας" η κεραία παρουσιάζει μια άριστη προσαρμογή με το δημοφιλές ομοαξονικό καλώδιο των 52Ω. Επιπλέον, η δισκοκωνική κεραία εμφανίζει καλή χαρακτηριστική αντίσταση πάνω από ένα πεδίο συχνοτήτων 10 προς 1 και μικρή γωνία ακτινοβολίας με μικρή μεταβολή στο διάγραμμα ακτινοβολίας πάνω από ένα 3:1 ή 4:1 πεδίο συχνοτήτων.

Μια δισκοκωνική κεραία αποτελείται από δύο τμήματα: έναν οριζόντιο δίσκο και έναν κάθετο κώνο. Το περίγραμμα του κώνου είναι ένα ισόπλευρο τρίγωνο και η διάσταση αυτού L ίση με λ/4 στον ελεύθερο χώρο, για τη χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας (Σχήμα 2.12(α')). Ο δίσκος είναι τοποθετημένος στο πάνω μέρος της κεραίας και απομονωμένος από τον κώνο κατά S(το S ποικίλλει από 2.54 έως 15.24cm ανάλογα με τη συχνότητα αποκοπής, για την οποία έχει σχεδιαστεί). Αυτό γίνεται συνήθως με κάποιο αρκετά ισχυρό υλικό για να στηρίζει τον δίσκο. Ο εσωτερικός αγωγός του ομοαξονικού καλωδίου περνά μέσα από αυτό το υλικό και συνδέεται με τον δίσκο, ενώ το προστατευτικό κάλυμα συνδέεται με τον κώνο. Για τη μελέτη της κεραίας στα HF, λόγω του φυσικού της όγκου, ο δίσκος προσομοιώνεται με μια κατασκευή (Σχήμα 2.12(β')), η οποία αποτελείται από οκτώ ακτίνες που συνδέονται μεταξύ τους με σύρματα. Είναι σημαντικό ότι ένα σύρμα συνδέει τα κάτω άκρα όλων των συρμάτων που προσομοιώνουν τον κώνο, και άλλο ένα συνδέει τα εξωτερικά άκρα των ακτίνων οι οποίες προσομοιώνουν τον δίσκο. Αυτά τα σύρματα βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της κατασκευής κατά ένα αξιοσημείωτο βαθμό. Αν τοποθετηθεί και σκελετός τότε η κεραία μπορεί να τοποθετηθεί και μακριά από το έδαφος. Για τη μελέτη της κεραίας στα VHF και UHF, ο κώνος μπορεί να είναι και συμπαγής, από κάποιο εύκολα κατεργάσιμο μέταλλο, όπως ο χαλκός.



(α') Η απλή δισκοκωνική κεραία.



(β') Η ολοκληρωμένη δισκοκωνική κεραία, προσομοιωμένη με σύρματα.

Σχήμα 2.12 : Περιγραφή και γεωμετρία δισκοκωνικής κεραίας.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της δισκοκωνικής κεραίας με σκελετό, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν η αφορμή για μια πιο αναλυτική μελέτη της ομάδας αυτών των κεραιών, με τη βοήθεια κυρίως υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι το πρόγραμμα λεπτού σύρματος. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν αρχικά οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η αντίσταση εισόδου είναι πραγματική και ίση με 50Ω, το (SWR) είναι της τάξης 1.5:1 ή και λιγότερο και η γωνία ακτινοβολίας διατηρείται μικρή, για το μεγαλύτερο δυνατό εύρος ζώνης. Για όλα τα μοντέλα ισχύει η προσέγγιση ότι το μονοπόλο του δίσκου και του κώνου αποτελούν ενα τμήμα.

Για τη δισκοκωνική με σκελετό κεραία η κυριότερη γεωμετρική παράμετρος της κατασκευής είναι ο αριθμός των τμημάτων στα οποία διαιρείται το μοντέλο. Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση την τιμή της παραμέτρου(17, 49 και 97 τμήματα). Από την όλη διερεύνηση (πειραματική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Η δισκοκωνική με σκελετό κεραία είναι πρακτική, και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν μια γενικής χρήσης κεραία ευρείας ζώνης. Βέβαια δεν θα έχει την ίδια καλή απόδοση με μια κεραία μονής ζώνης κέρδους προσαρμοσμένη για βέλτιστη απόδοση, αλλά θα είναι αρκετά χρηιμη για πολλές ερασιτεχνικές εφαρμογές. Τα μήκη των στοιχείων δεν είναι κρίσιμα αν ο κατασκευαστής τα κάνει αρκετά μεγάλα διατηρώντας ταυτόχρονα τη διάμετρο του δίσκου περίπου στα 67-70% του ολικού μήκους των ακτίνων του κώνου.

β. Όσο ο αριθμός των ακτίνων στον σκελετό μειώνεται, η καμπύλη του λόγου στάσιμων κυμάτων έχει περισσότερες μεταβολές, [18], σελ.22. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πλήθος των ακτίνων στον κώνο είναι πιο σημαντικό από το αντίστοιχο στον δίσκο. Για να διασφαλιστεί μια επίπεδη καμπύλη του λόγου SWR, θα πρέπει ο αριθμός αυτός των ακτίνων για μια κεραία HF να είναι μικρός, ενώ για μια VHF θα ήταν προτιμότερη μια εκδοχή με οκτώ ή περισσότερες ακτίνες.

γ. Με την αύξηση του αριθμού των τμημάτων στα οποία διαιρείται το μοντέλο, μεγαλώνει και το εύρος λειτουργίας της κεραίας. Επίσης, παρατηρείται ότι για τα 47 και 97 τμήματα το διάγραμμα ακτινοβολίας, [18], σελ.58-61, ο λόγος SWR, [18], σελ.63, το πραγματικό, [18], σελ.65 και το φανταστικό μέρος, [18], σελ.67 της αντίστασης εισόδου και η σχετική κατευθυντικότητα, [18], σελ.71 παρουσιάζουν ταυτόσιμη συμπεριφορά, ενώ για τα 17 τμήματα αυτή διαφέρει αρκετά. Ωστόσο ως προς την κατευθυντικότητα τα αποτελέσματα είναι ίδια ανεξάρτητα από τον αριθμό των τμημάτων, [18], σελ.73.

Μετά από μια εκτενή μελέτη, τελικά καταλήγουμε στο ότι η δισκοκωνική με σκελετό κεραία παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά, που την καθιστούν προτιμητέα για εφαρμογές που χρειάζονται κεραίες ευρείας ζώνης.

2.12 : Η κεραία X-BEAM.

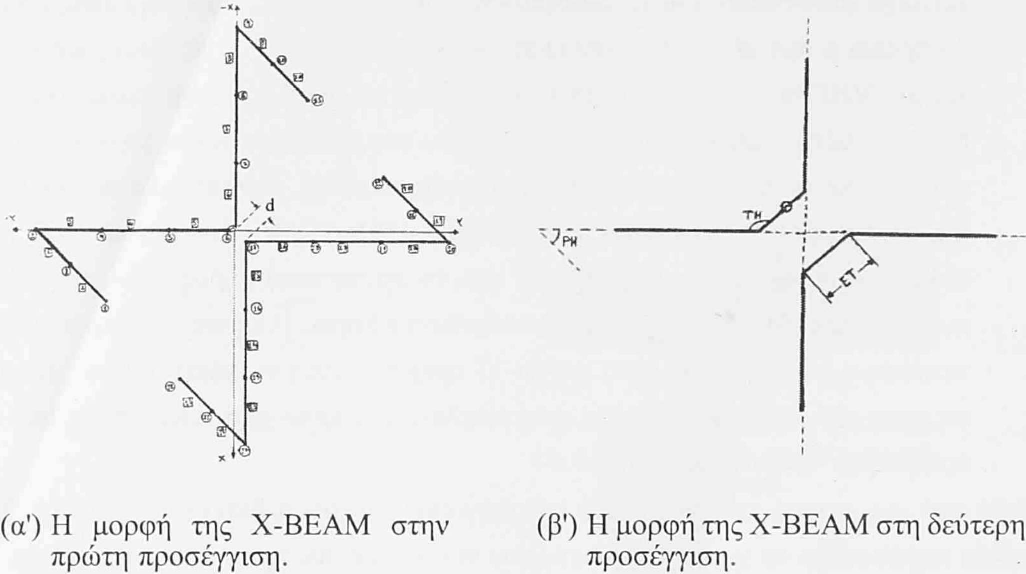
Η κεραία X-BEAM είναι μία υψηλής απόδοσης, ευρείας ζώνης κεραία, η οποία είναι ιδανική για ραδιοχειριστές με περιορισμένο χώρο. Με βάση τη διατύπωση αυτή πραγματοποιήθηκε μια μελέτη της συγκεκριμένης διάταξης, έτσι ώστε να είναι προβλέψιμη η συμπεριφορά της για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [19].

Η X-BEAM είναι μια συμπαγής εκδοχή μιας Yagi-Uda δύο στοιχείων, της οποίας η απόδοση ισοδυναμεί ή υπερβαίνει αυτής της Yagi. Έχει καλό εύρος ζώνης, ένα κέρδος 6dB πάνω από το δίπολο και 15 με 18dB λόγο κατευθυντικής αποτελεσματικότητας κεραιών(F/B).

Η κεραία X-BEAM αποτελείται από τέσσερις βραχίονες (arms) συχνά κατασκευασμένους από αλουμινένιους σωλήνες και τέσσερα φορτισμένα συρμάτινα tails (ουρές των βραχιόνων) για κάθε συχνότητα (Σχήμα 2.13(α')). Τοποθετείται συνήθως σε οριζόντιο επίπεδο, παρόλο που μια θέση σε κατακόρυφο(κάθετο) επίπεδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Είναι πολύ μικρότερη και ελαφρότερη από μια Yagi δύο στοιχείων για την ίδια ζώνη συχνοτήτων.

Διακρίνουμε δύο τύπους κεραίας X-BEAM: Τις μεγάλου (μεγίστου) μεγέθους X-Beams (full-size X-Beams) (Σχήμα 2.13(α')) και τις μικρού (ελαχίστου) μεγέθους X-Beams (minimum-size X-Beams). Η μεγάλου μεγέθους X-Beam εξασφαλίζει μια καλή προσαρμογή με 50Ω ομοαξονικό καλώδιο και το μέγιστο δυνατό εύρος ζώνης. Προτείνεται για 10, 15 και 20 μέτρα. Η μικρού μεγέθους X-Beam έχει παρόμοια απόδοση

αλλά το SWR είναι περίπου 1.4:1. Εξαιτίας των πιο κοντών βραχιόνων, τα άκρα των tails έρχονται σχεδόν σε επαφή. Χρησιμοποιείται για 30 και 40 μέτρα.



(α') Η μορφή της X-BEAM στην πρώτη προσέγγιση.

(β') Η μορφή της X-BEAM στη δεύτερη προσέγγιση.

Σχήμα 2.13 : Οι δύο προσεγγίσεις της κεραίας X-BEAM.

Η πειραματική μελέτη της κεραίας του Σχήματος 2.13(α') απέδειξε ότι, [19], σελ.1-8,11 η πραγματική απόδοση της X-Beam είναι εκπληκτικά παρόμοια με αυτή μιας Yagi τριών στοιχείων. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της κεραίας και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση αυτής(υπολογιστική μελέτη) με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων.. Το κυριότερο είναι το πρόγραμμα λεπτού σύρματος. Με βάση το πειραματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, σε θεωρητικό επίπεδο, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές. Για τον ίδιο σκοπό διερευνήθηκε και μια δεύτερη προσέγγιση της γεωμετρίας της X-Beam (Σχήμα 2.13(β')), στην οποία οι βραχίονες δεν ενώνονται για να σχηματιστεί γωνία 90ο. Αντίθετα καταλήγουν σε ένα ευθύγραμμο τμήμα ET, το οποίο έχει σταθερό μήκος 0.01m. Οι γωνίες που σχηματίζουν οι βραχίονες με το ET είναι 135ο και συμβολίζεται με TH. Η πηγή τοποθετείται στο μέσο του ET του οδηγούμενου στοιχείου της κεραίας για να διατηρηθεί η συμμετρία της X-Beam.

Η συχνότητα κατασκευής που προτείνεται για την κεραία X-Beam από το QST και ARRL Antenna Compendium#1 είναι f=14.1MHz. Όπως αποδεικνύεται από το διάγραμμα κατευθυντικότητας της κεραίας ως προς τη συχνότητα, [19], σελ.2-11, για τις διαστάσεις της κεραίας που προτείνονται, η συχνότητα συντονισμού είναι f=12.9MHz.

Για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας το μήκος του βραχίονα είναι 4.21532m, του tail οδηγούμενου 2.30221m και του tail παρασιτικού 1.99957m, τιμές οι οποίες πληρούν το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων.

Για την κεραία X-Beam η κυριότερη γεωμετρική παράμετρος της κατασκευής είναι ο αριθμός των τμημάτων στα οποία διαιρείται το μοντέλο. Με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση την τιμή της παραμέτρου(8 που είναι και ο ελάχιστος αριθμός τμημάτων, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 και 96 τμήματα). Επιπλέον, διερευνήθηκε η συμπεριφορά των μοντέλων και για ένα εύρος συχνοτήτων, από τη συχνότητα λειτουργίας της κεραίας (f=12.9MHz) έως τη συχνότητα που προτείνεται από το QST και ARRL Antenna Compendium#1 (f=14.1MHz), διατηρώντας όμως το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας. Από την όλη διερεύνηση(πειραματική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Η X-Beam εκπέμπει προς την κατεύθυνση του παρασιτικού στοιχείου της κεραίας μέχρι τη συχνότητα των f=12.9MHz, [19], σελ.2-15, 16, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τον ισχυρισμό του συγγραφέα στο "Designing X-Beams" ότι εκπέμπει στη συχνότητα λειτουργίας f=14.1MHz, [19], σελ.2-17. Η κατεύθυνση μεγίστου στην πρώτη περίπτωση είναι (θ,φ)=(90,45), ενώ στη δεύτερη (θ,φ)=(90,225). Συμπερασματικά, η λειτουργία της κεραίας θα πρέπει να περιοριστεί κάτω των f=13MHz.

β. Ο λόγος στάσιμου κύματος SWR της κεραίας αποδεικνύεται, [19], σελ.2-25 ότι παίρνει τη μικρότερη τιμή στη συχνότητα των 12.4MHz(περίπου 1.08). Δηλαδή στη συχνότητα αυτή, έχουμε την καλύτερη δυνατή προσαρμογή της X-Beam με την ομοαξονική γραμμή των 50Ω(μέγιστη μεταφοράς ισχύος). Αυτό επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα της σύνθετης αντίστασης με τη συχνότητα, [19], σελ.2-25, όπου το μεν πραγματικό μέρος της αντίστασης εισόδου γίνεται περίπου 50Ω, ενώ το φανταστικό σχεδόν μηδενίζεται.

γ. Η κατευθυντικότητα της κεραίας μεγιστοποιείται στη συχνότητα των 12.9MHz και η τιμή της είναι 5.092, ενώ η κατευθυντικότητα ως προς το δίπολο σε dB είναι 4.92. Για μια ικανοποιητική λειτουργία της κεραίας επιλέγεται μια συχνότητα στο εύρος 12.4-12.9MHz, κάνοντας έναν συμβιβασμό μεταξύ της μεγαλύτερης δυνατής απολαβής(κατευθυντικότητα) και χαμηλότερου δυνατού SWR.

δ. Οι δύο προσεγγίσεις της κεραίας X-Beam παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι όμοιο για τις περισσότερες συχνότητες που μελετώνται, [19], σελ.2-29,35, ενώ η κατευθυντικότητα, [19], σελ.3-2 και ο λόγος SWR, [19], σελ.3-3, παρουσιάζουν κάποιες διαφορές για μερικές συχνότητες, οι οποίες όμως δεν είναι σημαντικές. Αξιοσημείωτο είναι ότι η κατευθυντικότη-

τα(στη δεύτερη προσέγγιση) στη συχνότητα 12.4MHz έχει τιμή 2.92, αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της πρώτης προσέγγισης.

ε. Η συχνότητα συντονισμού της κεραίας X-Beam αυξάνεται κατά 0.1MHz, ελαττώνοντας κατά 5in το μήκος του κάθε tail, διατηρώντας παράλληλα σταθερή τη διαφορά στο μήκος των tails. Με τον τρόπο αυτό οι τιμές της κατευθυντικότητας και των λόγων SWR και (F/B) παραμένουν σχεδόν οι ίδιες μόνο που μετατοπίζονται προς τα πάνω κατά κάποια MHz (περίπου 0.1MHz στην περιοχή λειτουργίας), [19], σελ.3-6,7.

στ. Η X-Beam είναι αρκετά δύσκολο φορτίο και η προσαρμογή της με την ομοαξονική γραμμή των 50Ω είναι αρκετά δύσκολη. Θα μπορούσαμε ίσως να χρησιμοποιήσουμε ομοαξονικό καλώδιο μικρότερης χαρακτηριστικής εμπέδησης, καθώς επίσης stub αντιστάθμισησ(για μια συγκεκριμένη συχνότητα) για να πετύχουμε καλύτερη προσαρμογή.

Μετά από μια εκτενή μελέτη, τελικά προβλέψαμε τη συμπεριφορά μιας κεραίας X-BEAM για ενδεχόμενη πρακτική χρήση. Πραγματοποιήθηκε μόνο πειραματικη και υπολογιστική μελέτη, χωρίς να κρίνεται αναγκαία η κατασκευή της κεραίας και η διεξαγωγή των μετρήσεων. Τα προγράμματα προσφέρουν ευκολία και ταχύτητα, ενώ η κατασκευή της κεραίας δεν είναι μια εύκολη διαδικασία και από την άλλη η διεξαγωγή μετρήσεων απαιτεί ειδικές συνθήκες για το αξιόπιστο των μετρήσεων(για παράδειγμα μια αξιόπιστη μέτρηση θα απαιτούσε την ύπαρξη ανηχοικού θαλάμου).

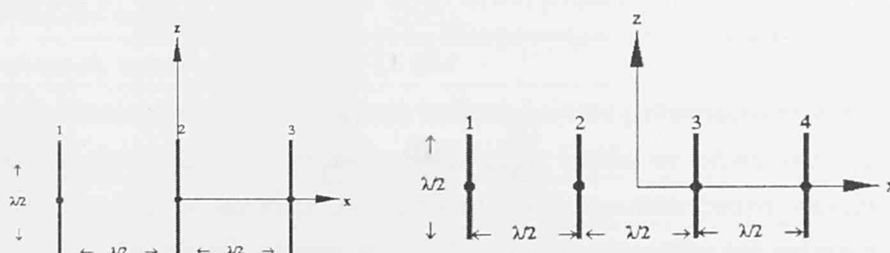
2.13 : Συστοιχίες πολλαπλών ενεργών στοιχείων.

Οι συστοιχίες πολλαπλών στοιχείων είναι κεραίες που αποτελούνται από πολλά στοιχεία, συνήθως όμοια μεταξύ τους, τα οποία συνδυάζονται κατάλληλα, έτσι ώστε να μας προσφέρουν κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το στάδιο της αρχικής εγκατάστασης ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας, εξασφαλίζοντας μια επικοινωνία από σημείο προς σημείο, λόγω κυρίως της κατευθυντικής δέσμης ακτινοβολίας. Με βάση τη διατύπωση αυτή πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων αυτών των διατάξεων, μαζί με το βιβλιογραφικό, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε να είναι προβλέψιμη και πιστοποιημένη η συμπεριφορά τους για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [20].

Γενικά, οι συστοιχίες πολλαπλών στοιχείων αποτελούνται από στοιχεία, το καθένα από τα οποία μπορεί να είναι είτε ακτινοβολητής λ/2 ή ένα κάθετο τμήμα λ/4 πάνω από το έδαφος. Το μήκος δεν είναι πάντα ίσο με μισό ή τέταρτο του μήκους κύματος, γιατί σε μερικούς τύπους συστοιχιών είναι επιθυμητό τα στοιχεία να εμφανίζουν είτε χωρητική είτε επαγωγική συμπεριφορά. Πάντως η απόκλιση του μήκους είναι φυσιολο-

γικά μικρή(όχι παραπάνω από 5% στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις) και έτσι δεν έχει αξιόλογη επίδραση στις ιδιότητες ακτινοβολίας του στοιχείου. Τα στοιχεία των εν λόγω συστοιχειών είναι συνήθως είτε παράλληλα είτε συγραμμικά μεταξύ τους ενώ δύναται και συνδυασμός των δύο περιπτώσεων, [20], σελ.1-3. Επιπλέον, μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετα στο έδαφος ανάλογα με την πόλωση που απαιτείται. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι οδηγούμενες συστοιχίες πολλαπλών στοιχείων ή συστοιχίες πολλαπλών ενεργών στοιχείων (Multielement Driven Array), των οποίων τα στοιχεία είναι οδηγούμενα (Driven Elements), δηλαδή δέχονται ισχύ από έναν πομπό συνήθως μέσω γραμμής μεταφοράς. Καλό είναι οι παραπάνω συστοιχίες να βασίζονται και στη μετωπική (broadside) έννοια. Αυτό σημαίνει η κύρια διεύθυνση της ακτινοβολίας τους να είναι κάθετη στον άξονα της συστοιχίας και στο επίπεδο που περιλαμβάνει τα στοιχεία. Απαραίτητη προϋπόθεση όμως για να ισχύει ο παραπάνω ορισμός είναι τα ρεύματα που διαρρέουν τα στοιχεία τους να παρουσιάζουν την ίδια φάση.

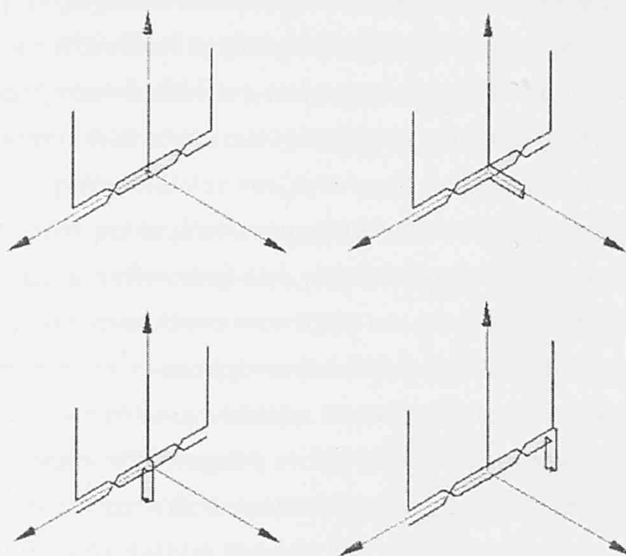
Η μελέτη εστιάζεται σε δικατευθυντικές, μετωπικές συστοιχίες τριών και τεσσάρων οδηγούμενων διπόλων (Σχήμα 2.14). Με τον όρο δικατευθυντικές εννοούμε τις συστοιχίες που ακτινοβολούν εξίσου καλά και στις δύο κατευθύνσεις κατά μήκος της γραμμής της μέγιστης ακτινοβολίας. Πρώτο στάδιο ήταν η θεωρητική ανάλυση των δύο αυτών περιπτώσεων, εφαρμόζοντας τη θεωρία των κεραιών. Για λόγους απλοποίησης, η ρευματική κατανομή θεωρήθηκε ημιτονοειδής και τα ρεύματα, στο σημείο τροφοδοσίας, ίσου πλάτους και ίδιας φάσης. Επισης, όπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα, οι αποστάσεις μεταξύ των διπόλων είναι λ/2 και δεν υπάρχει φασική γραμμή μεταξύ τους. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων. Από την ανάπτυξη των δύο παραπάνω κεραιών εξάγονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας στα τρία κύρια επίπεδα, [20], σελ.3-2 και στον χώρο, τα οποία βοηθούν στο να συμπεραίνουμε τη συμπεριφορά τους, όσο αυξάνεται ο αριθμός των διπόλων.



Σχήμα 2.14 : Συστοιχίες τριών και τεσσάρων οδηγούμενων στοιχείων της θεωρητικής ανάλυσης.

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της κεραίας και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση αυτής(υπολογιστική μελέτη) με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμά-

των. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire, [20], σελ.2-17, 2-20. Με βάση τα δύο θεωρητικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές. Για τον ίδιο σκοπό διερευνήθηκαν και κάποιες προσεγγίσεις της γεωμετρίας των παραπάνω συστοιχιών, ως προς τον τρόπο τροφοδοσίας τους (Σχήμα 2.15) και τη μορφή της φασικής γραμμής που συνδέει τα δίπολα (αναδιπλωμένη φασική γραμμή που προεξέχει από το επίπεδο των διπόλων ή βρίσκεται σε αυτό καθώς διπλώνεται), [20], σελ.2-37, 2-54.



Σχήμα 2.15 : Τέσσερις διαφορετικοί τρόποι τροφοδοσίας. Στην πρώτη περίπτωση (πάνω αριστερά σχήμα) έχουμε τροφοδοσία στο κεντρικό δίπολο, στη δεύτερη (πάνω δεξιά σχήμα) με γραμμή λ/4 κάθετη στα δίπολα, στην τρίτη (κάτω αριστερά σχήμα) με γραμμή λ/4 παράλληλη στο επίπεδο των διπόλων και στην τέταρτη (κάτω δεξιά σχήμα) σε ένα από τα ακραία δίπολα (ο τρόπος αυτός περιγράφεται μόνο στη βιβλιογραφία).

Η συχνότητα κατασκευής των παραπάνω συστοιχιών οδηγούμενων διπόλων είναι f=300MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=1m. Η τιμή αυτή επιλέγεται για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ(α0.01λ). Τέλος, σύμφωνα με τους περιορισμούς που εισάγει το Richwire, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συρμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από δύο ακτίνες του σύρματος. Γι' αυτό τον λόγο η ελάχιστη απόσταση είναι 0.004m.

Για τις συστοιχίες τριών και τεσσάρων οδηγούμενων διπόλων, οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους είναι:

i. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Το χώρισμα σε κεραίας σε τμήματα γίνεται με τη βοήθεια ενός προγράμματος σε γλώσσα fortran,

το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργήσει το κατάλληλο αρχείο εισόδου για την εισαγωγή του στο Richwire. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση των διαγραμάτων της κατευθυντικότητας και της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων για την κάθε κεραία, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός.

ii. Η απόσταση μεταξύ των αγωγών της φασικής. Η βέλτιστη απόσταση είναι αυτή για την οποία ο λόγος (SWR) είναι σε ικανοποιητικό βαθμό χαμηλός(περίπου 1.5), ενώ η κατευθυντικότητα είναι σε ικανοποιητικό βαθμό υψηλή.

iii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά των παραπάνω συστοιχιών. Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας των κεραιών(f=300MHz), διερευνάται η συμπεριφορά τους για ένα εύρος συχνοτήτων με κεντρική την f=300MHz.

Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα, στα οποία αναγράφονται οι βέλτιστες επιλογές λειτουργίας των συστοιχιών τριών και τεσσάρων οδηγούμενων διπόλων:

Συστοιχία 3-στοιχείων. Τροφοδοσία: γραμμή λ/4 κάθετη στο επιπέδο των διπόλων.	
Υπολογισμένη κατευθυντικότητα	5.6dBd
Θεωρητική κατευθυντικότητα	5.7dBd
Συστοιχία 3-στοιχείων, όπου η φασική γραμμή προεξέχει από το επίπεδο των διπόλων καθώς διπλώνεται. Τροφοδοσία: γραμμή λ/4 κάθετη στο επιπέδο των διπόλων	
Υπολογισμένη κατευθυντικότητα	7.05dBd
Θεωρητική κατευθυντικότητα	7.2dBd
Συστοιχία 3-στοιχείων, όπου η φασική γραμμή βρίσκεται στο επίπεδο των διπόλων. Τροφοδοσία: γραμμή λ/4 κάθετη στο επιπέδο των διπόλων.	
Υπολογισμένη κατευθυντικότητα	8.64dBd
Θεωρητική κατευθυντικότητα	7.2dBd
Συστοιχία 4-στοιχείων. Τροφοδοσία: χωρίς γραμμή λ/4.	
Υπολογισμένη κατευθυντικότητα	6.76dBd
Θεωρητική κατευθυντικότητα	7.1dBd
Συστοιχία 4-στοιχείων, όπου τα δίπολα είναι τροφοδοτούμενα στο κέντρο Τροφοδοσία: γραμμή λ/4 κάθετη στο επιπέδο των διπόλων	
Υπολογισμένη κατευθυντικότητα	6.93dBd
Θεωρητική κατευθυντικότητα	7.1dBd

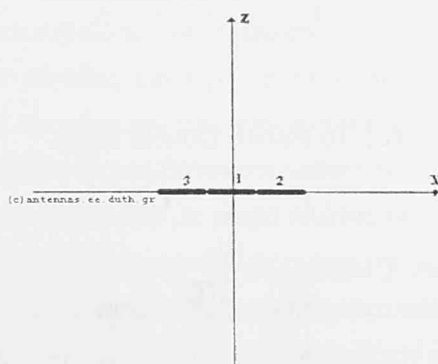
Παρατηρούμε ότι οι υπολογισμοί βρέθηκαν πολύ κοντά στις αναμενόμενες τιμές εκτός από την περίπτωση της συστοιχίας 3-στοιχείων με τη φασική γραμμή στο επίπεδο των διπόλων. Αυτό οφείλεται στη διάταξη της φασικής γραμμής. Όσον αφορά την αντίσταση εισόδου, στις συστοιχίες της βιβλιογραφίας, [20], σελ.1-13,14, 1-15, η τιμή είναι 1-1.5ΚΩ. Αυτό είναι ορθό εφόσον δεν χρησιμοποιήσουμε επιπλέον γραμμή μεταφοράς λ/4, γιατί στην περίπτωση που η πηγή πέσει σε μηδενισμό ρεύματος τότε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η τιμή της αντίστασης παίρνει τέτοιες τιμές. Γενικά όλες οι συστοιχίες που αναλύθηκαν είναι δικατευθυντικές, μετωπικές, με ικανοποιητική κατευθυντικότητα. Σαν φορτίο είναι αρκετά καλές, αλλά μόνο για μικρό σχετικά εύρος ζώνης. Επίσης, παρατηρούμε ότι όλες οι συστοιχίες είναι συμμετρικές και δε μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας με ομοαξονική γραμμή μεταφοράς. Γι' αυτό η προτείνεται η χρήση balun.

2.14 : Η κεραία τύπου Collinear Array.

Η κεραία τύπου Collinear Array(συγγραμμική συστοιχία) λειτουργεί πάντα με τα στοιχεία σε φάση(Έαν δυο διαδοχικά στοιχεία σε μια τέτοια συστοιχία είναι εκτός φάσης, το σύστημα απλά γίνεται μια κεραία αρμονικού τύπου). Μια τέτοιου τύπου κεραία είναι ένας πλευρικός ακτινοβολητής, με τις κατευθύνσεις της μέγιστης ακτινοβολίας να είναι σε ορθές γωνίες σχετικά με τον άξονα της κεραίας. Υπάρχουν διάφορες μορφές Collinear Array με 2, 3 και 4 στοιχεία, [21], σελ.4. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, για μια κεραία Collinear Array με 2 στοιχεία, η κατευθυντικότητα είναι μεγάλη όταν το διάστημα μεταξύ των άκρων κυμαίνεται από 0.4λ έως 0.6λ. Ωστόσο, η χρήση αυτών των αποστάσεων δημιουργεί δυσκολίες στην τροφοδοσία των δύο στοιχείων. Έτσι, οι κεραίες τύπου Collinear Array λειτουργούν σχεδόν πάντα με τα άκρα τους πολύ κοντά και η θεωρητική κατευθυντικότητα είναι περίπου: για 2 συγγραμμικά στοιχεία 2.5, για 3 συγγραμμικά στοιχεία 3.1 και για 4 συγγραμμικά στοιχεία 4.2. Όσον αφορά το διάγραμμα ακτινοβολίας, μικροί δευτερεύοντες λοβοί εμφανίζονται στο διάγραμμα όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα από δύο στοιχεία, αλλά τα πλάτη αυτών των λοβών είναι τόσο μικρά που αγνοούνται, [21], σελ.8. Σε ένα επίπεδο κάθετο στην κεραία το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι κύκλος, ανεξάρτητα του αριθμού των στοιχείων. Έτσι η συγγραμμική λειτουργία επηρεάζει το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας, όταν το επίπεδο περιέχει την κεραία, [21], σελ.7. Στο κάθετο στην κεραία επίπεδο, το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ίδιο με αυτό των στοιχείων λ/2 από τα οποία αποτελείται. Η γωνία ημίσεως ισχύος για μια κεραία Collinear Array με 2 στοιχεία είναι 47ο, ενώ αυτή του διπόλου 78ο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, βάσει της βιβλιογραφίας, το εκτεταμένο Double Zepp σύστημα, το οποίο είναι μια Collinear Array 2 στοιχείων, μήκους λίγο μεγαλύτερο από λ/2 το καθένα(βέλτιστη τιμή 0.64λ). Το τμήμα που προκύπτει στο κέντρο είναι μικρό σε μήκος και φέρει ρεύμα αντίθετης φάσης σε χαμηλή τιμή. Έτσι, η ακτινοβολία από το κέντρο διατηρείται σε μειωμένα επίπεδα. Με το Double Zepp επι-

τυγχάνεται κατευθυντικότητα 3.2. Οι κεραίες τύπου Collinear Array είναι ιδανικές για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος προς ή από μια ευρεία περιοχή η οποία περιβάλλει το σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε την κεραία, λόγω του ότι ακτινοβολούν παν-κατευθυντικά. Με βάση τη διατύπωση αυτή και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων αυτών των διατάξεων, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά των Collinear Array για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [21].

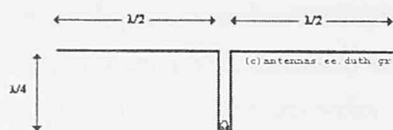
Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση κεραιών τύπου Collinear Array τριών στοιχείων (Σχήμα 2.16). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη γιατί απαιτεί μικρό σχετικά αριθμό πράξεων, ενώ δεν επιλέχθηκε η απλούστερη κεραία των δύο στοιχείων γιατί σ' αυτήν δεν αναμένονται δευτερεύοντες λοβοί, σε αντίθεση με κάθε άλλο τύπο κεραίας της συγκεκριμένης κατηγορίας. Επίσης, δε έχει ληφθεί υπόψη και η γραμμή μεταφοράς $\lambda/4$ που χρειάζεται για την τροφοδοσία της κεραίας. Αρχικά εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας. Κατόπιν, συντάχθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα fortran το οποίο πραγματοποιεί αποτίμηση ανα 1 μοίρα για το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας και ανά 5 μοίρες για τα διαγράμματα ακτινοβολίας στα 3 κύρια επίπεδα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.



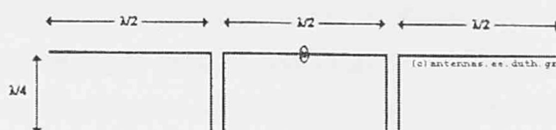
Σχήμα 2.16 : Θεωρητικό μοντέλο της κεραίας Collinear Array 3 στοιχείων.

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη των κεραιών τύπου Collinear Array και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση (υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας, με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire, [21],

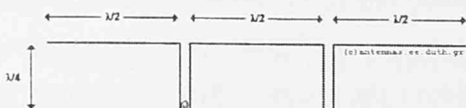
σελ.19-21. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές. Για τον ίδιο σκοπό διερευνήθηκαν και κάποιες προσεγγίσεις της γεωμετρίας της παραπάνω συστοιχίας, ως προς τον τρόπο τροφοδοσίας της και τον αριθμό των στοιχείων από τα οποία αποτελείται (Σχήμα 2.17). Επίσης, μελετήθηκε και το Double Zepp για λόγους πιστοποίησης.



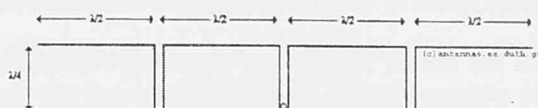
(α') Η κεραία Collinear Array 2 στοιχείων.



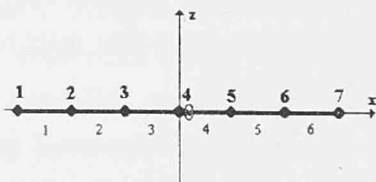
(β') Η κεραία Collinear Array 3 στοιχείων με κεντρική τροφοδοσία.



(γ') Η κεραία Collinear Array 3 στοιχείων με μη κεντρική τροφοδοσία.



(δ') Η κεραία Collinear Array 4 στοιχείων.



(ε') Το δίπολο Double Zepp.

Σχήμα 2.17 : Τύποι κεραιών Collinear Array ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας και τον αριθμό των στοιχείων από τα οποία αποτελούνται.

Η συχνότητα κατασκευής των παραπάνω συγγραμμικών συστοιχιών είναι f=300MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=1m. Η τιμή αυτή επιλέγεται για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.0029m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ(α0.01λ). Όλες οι κεραίες τύπου Collinear Array, που αναλύθηκαν, τροφοδοτούνται μέσω μιας γραμμής μεταφοράς λ/4. Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθεί η μεγάλη αντίσταση εισόδου που εμφανίζεται από την απευθείας σύνδεση της πηγής με την κεραία, λόγω του ότι σε εκείνο το σημείο το ρεύμα είναι ασθενές. Σύμφωνα με τους περιορισμούς που

εισάγει το Richwire, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συρμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από δύο ακτίνες του σύρματος. Γι' αυτό τον λόγο η απόσταση μεταξύ των συρμάτων των stub παίρνει την τιμή 0.007m. Επιπλέον η τιμή αυτή σε συνδυασμό με εκείνη της ακτίνας του σύρματος, παρέχουν προσαρμογή στα 300Ω.

Για τις συγγραμμικές συστοιχίες δύο και τριών στοιχείων, η κυριότερη παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά τους είναι η συχνότητα στην οποία κάθε φορά υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά τους. Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=300MHz), διερευνάται η συμπεριφορά των παραπάνω συστοιχιών για ένα εύρος ζώνης μετάδοσης σήματος 250-350MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=300MHz.

Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Η κατευθυντικότητα αυξάνεται με τον αριθμό των συγγραμικών στοιχείων, [21], σελ.81, γεγονός που συμφωνεί απόλυτα και με τη βιβλιογραφία.

β. Το διάγραμμα ακτινοβολίας αποκτά περισσότερους δευτερεύοντες λοβούς με την αύξηση των συγγραμμικών στοιχείων. Η αύξηση της κατευθυντικότητας παρόλη την αύξηση των δευτερεύοντων λοβών εξηγείται από το γεγονός ότι οι κύριοι λοβοί γίνονται περισσότερο "απότομοι", περισσότερο κατευθυντικοί.

γ. Συστήματα που παρουσιάζουν ασυμμετρία ως προς κάποιο άξονα, ασυμμετρία η οποία οφείλεται στη θέση της πηγής ή στην ύπαρξη stub, παρουσιάζουν αντίστοιχη ασυμμετρία στα διαγράμματα ακτινοβολίας, [21], σελ.54-56, 59-62, η οποία γίνεται περισσότερο έντονη όσο η συχνότητα λειτουργίας αποκλίνει από την κεντρική.

δ. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας που προκύπτουν από τη θεωρητική ανάλυση διαφέρουν ως προς το μέγεθος και την κατεύθυνση των δευτερεύοντων λοβών σε σχέση με αυτά που προκύπτουν από την ανάλυση με το Richwire, κι αυτό γιατί στη θεωρητική ανάλυση δε λαμβάνονται υπόψη τα stub.

ε. Τα stub αν και κατασκευασμένα με μικρό πλάτος εκπέμπουν ακτινοβολία με αποτέλεσμα τη δημιουργία ασυμμετριών ως προς τον άξονα Ox, στα διαγράμματα ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, σ' αυτό το γεγονός οφείλεται το διαφορετικό μέγεθος στο επίπεδο zOx των δευτερεύοντων λοβών στον χώρο με αρνητικά z, σχετικά με την κλίση αυτών που βρίσκονται στον χώρο με θετικά z.

στ. Όλοι οι τύποι Collinear Array κεραιών εκπέμπουν παν-κατευθυντικά στο επίπεδο yOz στην κεντρική συχνότητα λειτουργίας. Αυτή η ιδιότητα διατηρείται και σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων γύρω από την κεντρική, σχεδόν σε όλες τις Collinear Array. Αλλά ακόμα και στις περιπτώσεις που δεν έχουμε παν-κατευθυντική ακτινοβολία, ο τρόπος ακτινοβολίας της κεραίας, όπως αποδεικνύεται από τα διαγράμματα ακτινοβολίας, λίγο απέχει από τον παν-κατευθυντικό.

ζ. Σε εφαρμογές με κεντρικές συχνότητες μεγαλύτερες από αυτή που μελετήσαμε

μπορεί να υπάρξει τεχνική δυσκολία για τη χρήση μιας Collinear Array κι αυτό γιατί θα χρειαστεί κατασκευή stub με πολύ μικρό πλάτος. Θα πρέπει να δοθούν εγγυήσεις ότι καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης της κεραίας δε θα βραχυκυκλώσουν τα σύρματα των stub που βρίσκονται πολύ κοντά πλέον το ένα απέναντι από το άλλο, πράγμα πολύ δύσκολο αν η κεραία είναι εκτεθειμένη στις καιρικές συνθήκες.

η. Επίσης, κεραίες πολύ μεγάλου μήκους θα πρέπει να στηρίζονται επαρκώς μηχανικά, έτσι ώστε να μη χάνεται η συγγραμμική γεωμετρία εξαιτίας του ανέμου.

Με βάση την παρπάνω μελέτη, οι κεραίες τύπου Collinear Array είναι ιδανικές για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος προς ή από μια ευρεία περιοχή η οποία περιβάλλει το σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε την κεραία. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι οι αναμεταδότες και οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας σε τύπο κυψέλης που απαιτείται τοποθέτηση της κεραίας στο κέντρο της.

2.15 : Η κεραία Sterba-Bruce.

Η κεραία τύπου Sterba-Bruce είναι συνδυασμός δύο ομάδων κεραιών: των Sterba και των Bruce. Αυτές αποτελούν συστοιχίες(arrays) απλών στοιχείων και είναι έτσι διαμορφωμένες ώστε να αυξάνεται η κατευθυντικότητα με το μέγεθός τους, δηλαδή με το πλήθος των στοιχείων που χρησιμοποιείται κάθε φορά, διατηρώντας ίδια τη βασική μορφή κατασκευή τους.

Ειδικότερα, η κεραία Sterba είναι μια κεραία εκπομπής που αποτελείται τόσο από παράλληλα όσο και από συγγραμμικά στοιχεία με απόσταση λ/2 μεταξύ τους. Είναι ουσιαστικά ένα είδος βροχοκεραίας. Προκύπτει από βραχυκυκλωμένη γραμμή μεταφοράς. Επιπλέον, είναι κεραία broadside, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι στα παράλληλα στοιχεία όλα τα ρεύματα πρέπει να είναι σε φάση. Το διακριτικό χαρακτηριστικό της είναι η μέθοδος με την οποία κλείνουν τα άκρα του συστήματος. Για συνεχές ρεύμα και εναλλασσόμενο χαμηλής συχνότητας, το σύστημα σχηματίζει έναν κλειστό βρόχο, κι αυτό μας είναι χρήσιμο γιατί μπορούν να αποσταλούν θερμικά ρεύματα διαμέσου των καλωδίων, έτσι ώστε να λιώσει ο πάγος, ο οποίος σχηματίζεται στα ψυχρά κλίματα. Υπάρχει σχετικά λίγη εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τα κάθετα συνδετικά καλώδια στα άκρα, επειδή τα ρεύματα είναι σχετικά μικρά και ρέουν σε αντίθετες κατευθύνσεις με αναφορά στο κέντρο. Το προσεγγιστικό κέρδος είναι το άθροισμα των κερδών ενός συνόλου συγγραμμικών και ενός παράλληλων στοιχείων, αφού υπολογιστούν τα δύο τμήματα λ/4 που υπάρχουν στα άκρα σαν ένα τμήμα. Στις χαμηλές συχνότητες χρησιμοποιείται μόνο οριζόντια πόλωση και η χαμηλότερη ομάδα στοιχείων πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση λ/2 από το έδαφος για καλύτερα αποτελέσματα. Για την τροφοδοσία της επιλέγεται ένα σημείο κοντά στο κέντρο της, έτσι ώστε η διανομή της ισχύος να είναι όσο πιο ομοιόμορφη γίνεται. Η εμπέδηση σε ένα τέτοιο σημείο θα έχει τιμή 1ΚΩ ή λιγότερο σε συτήματα που διαθέτουν 6 ή περισσότερα στοιχεία.

Η κεραία Bruce είναι μια κεραία broadside και αποτελείται από ένα καλώδιο διπλωμένο, έτσι ώστε τα κάθετα τμήματα να μεταφέρουν μεγάλα ρεύματα σε φάση, ενώ τα οριζόντια τμήματα μεταφέρουν μικρά ρεύματα που ρέουν σε αντίθετες κατευθύνσεις με αναφορά προς το κέντρο αυτού του τμήματος. Συνεπώς η ακτινοβολία είναι κάθετα πολωμένη. Το κέρδος είναι ανάλογο με το μήκος της συστοιχίας αλλά είναι λίγο μικρότερο, επειδή τα ακτινοβολούντα στοιχεία είναι μικρά, σε σχέση με μια κεραία broadside του ίδιου συνολικού μήκους, η οποία αποτελείται από παράλληλα στοιχεία λ/2. Η συστοιχία πρέπει να έχει μήκος δύο ή περισσότερα μήκη κύματος για να έχει επιτευχθεί κάποιο αξιόλογο κέρδος. Το σύστημα μπορεί να τροφοδοτηθεί σε κάθε βρόχο. Αυτό συνήθως συμβαίνει στα κέντρα των κάθετων καλωδίων. Η κεραία Bruce χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο, ως κεραία λήψης θορύβου από το διάστημα.

Υπάρχουν διάφορες μορφές κεραιών Sterba και Bruce με 2, 3 και 4 συγγραμικά στοιχεία και 3, 4, 5 και 6 παράλληλα στοιχεία, [22], σελ.11. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η κατευθυντικότητα των συγγραμικών τους στοιχείων πλησιάζει σε συμπεριφορά αυτή των συγγραμμικών συστοιχιών. Όπως είδαμε, [22], για μια κεραία Collinear Array με 2 στοιχεία, η κατευθυντικότητα είναι μεγάλη όταν το διάστημα μεταξύ των άκρων κυμαίνεται από 0.4λ έως 0.6λ. Ωστόσο, η χρήση αυτών των αποστάσεων δημιουργεί δυσκολίες στην τροφοδοσία των δύο στοιχείων. Έτσι, οι κεραίες τύπου Collinear Array λειτουργούν σχεδόν πάντα με τα άκρα τους πολύ κοντά. Το ίδιο ισχύει και για τις κεραίες τύπου Sterba και Bruce ως προς το σύνολο των συγγραμμικών τους στοιχείων. Έτσι η θεωρητική κατευθυντικότητα είναι περίπου: για 2 συγγραμμικά στοιχεία 1.6dB, για 3 συγγραμμικά στοιχεία 3.1dB και για 4 συγγραμμικά στοιχεία 4.2dB. Όσον αφορά το σύνολο των παράλληλων στοιχείων, η κατευθυντικότητα εξαρτάται από την απόσταση των στοιχείων και των αριθμό αυτών. Έτσι η θεωρητική κατευθυντικότητα είναι περίπου:

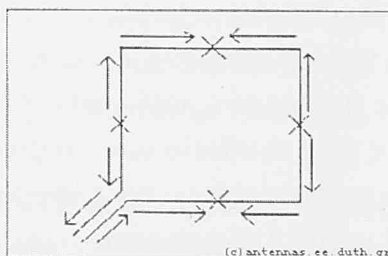
i. Για 3 παράλληλα στοιχεία και για απόσταση λ/2 μεταξύ τους 5.7dB, ενώ για απόσταση λ/4 μεταξύ τους 7.2dB.
ii. Για 4 παράλληλα στοιχεία και για απόσταση λ/2 μεταξύ τους 7.1dB, ενώ για απόσταση λ/4 μεταξύ τους 8.5dB.
iii. Για 5 παράλληλα στοιχεία και για απόσταση λ/2 μεταξύ τους 8.1dB, ενώ για απόσταση λ/4 μεταξύ τους 9.4dB.
iv. Για 6 παράλληλα στοιχεία και για απόσταση λ/2 μεταξύ τους 8.9dB, ενώ για απόσταση λ/4 μεταξύ τους 10.4dB.

Η συνολική κατεθυντικότητα προκύπτει αθροίζοντας την κατευθυντικότητα των συγγραμμικών στοιχείων με αυτή των παράλληλων, ανάλογα με τη γεωμετρία της κεραίας που μελετάται κάθε φορά.

Οι κεραίες Sterba-Bruce βρίσκουν πολλές εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες των βραχέων κυμάτων. Ανάλογα με την τοποθέτηση τους μπορεί να είναι συγγραμμικές, end-fire ή broadside, [22], σελ.14. Με βάση τη διατύπωση αυτή και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων αυτών

των διατάξεων, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά των Sterba-Bruce για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [22].

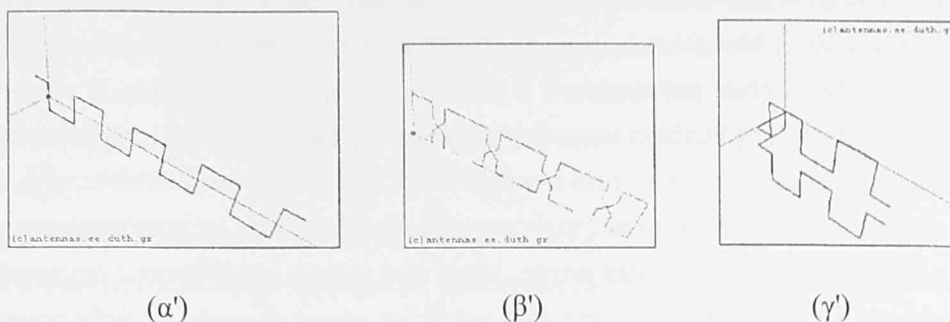
Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση κεραιών Sterba, οι οποίες αποτελούνται από 4 δίπολα λ/2 που σχηματίζουν μεταξύ τους έναν βρόχο (Σχήμα 2.18). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη γιατί η απλούστερη κεραία αυτής της ομάδας και απαιτεί μικρό σχετικά αριθμό πράξεων. Επίσης, αποτελεί ένα σκαλοπάτι για τη μελέτη της αντίστοιχης εκτεταμένης. Αρχικά εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας. Κατόπιν, συντάχθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα fortran το οποίο πραγματοποιεί αποτίμηση των εκφράσεων του διαγράμματος ακτινοβολίας, ανα 1 μοίρα για τον χώρο και ανά 5 μοίρες για τα 3 κύρια επίπεδα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.



Σχήμα 2.18 : Θεωρητικό μοντέλο της κεραίας Sterba απλής μορφής.

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη των κεραιών Sterba-Bruce και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση(υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας, με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές. Για τον ίδιο σκοπό διερευνήθηκαν και κάποιες προσεγγίσεις της γεωμετρίας της παραπάνω συστοιχίας, ως τον αριθμό των στοιχείων από τα οποία αποτελείται (Σχήμα 2.19). Επίσης, μελετήθηκαν και οι κεραίες Bruce της βιβλιογραφίας, [22], σελ.11 για λόγους πιστοποίησης.

Η συχνότητα κατασκευής των παραπάνω συγγραμμικών συστοιχιών είναι f=300MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=1m. Η τιμή αυτή επιλέγεται για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του



Σχήμα 2.19 : Τύποι κεραιών Sterba-Bruce ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας και τον αριθμό των στοιχείων από τα οποία αποτελούνται.(α) Η εκτεταμένη κεραία Sterba. Αποτελείται από τρία όμοια τετράγωνα λ/2 και δύο ακραία όμοια τμήματα που είναι ορθογώνια παράλληλόγραμμα με πλευρές λ/2 και λ/4.(β) Η πρώτη κεραία Bruce της βιβλιογραφίασ(αποτελείται από τμήματα μήκους λ/4, εκτός από τα ακραία που είναι μήκους λ/8. Η τροφοδοσία γίνεται στο πρώτο από αριστερά παράλληλο στοιχείο.).(γ) Η δεύτερη κεραία Bruce της βιβλιογραφίασ(το δεξί μισό τμήμα, το οποίο αποτελείται από τμήματα μήκους λ/4, εκτός από τα ακραία που είναι μήκους λ/8. Η τροφοδοσία γίνεται με γραμμή λ/4.).

σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ(α0.01λ). Από τις κεραίες Sterba-Bruce, που αναλύθηκαν, μόνο η δεύτερη μορφή της κεραίας Bruce της βιβλιογραφίας τροφοδοτείται μέσω μιας γραμμής μεταφοράς λ/4. Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθεί η μεγάλη αντίσταση εισόδου που εμφανίζεται από την απευθείας σύνδεση της πηγής με την κεραία, λόγω του ότι σε εκείνο το σημείο το ρεύμα είναι ασθενές. Σύμφωνα με τους περιορισμούς που εισάγει το Richwire, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συρμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από δύο ακτίνες του σύρματος. Γι' αυτό τον λόγο η απόσταση μεταξύ των συρμάτων των stub παίρνει την τιμή 0.125m(λ/8). Επιπλέον, τα μήκη των τμημάτων έχουν τέτοιες τιμές, ώστε να πληρούν το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq$λ/4), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων.

Για τις κεραίες Sterba-Bruce, η κυριότερη παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά τους είναι η συχνότητα στην οποία κάθε φορά υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά τους. Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=300MHz), διερευνάται η συμπεριφορά των παραπάνω συστοιχιών για ένα εύρος ζώνης μετάδοσης σήματος 250-350MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=300MHz.

Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Η απλή κεραία Sterba, σχήματος τετραγώνου (Σχήμα 2.18) παρουσιάζει χαμηλές τιμές κατευθυντικότητας (το πολύ 2.5) στην επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων

250-350MHz και απλά αποτελεί ένα σκαλοπάτι για τη μελέτη της αντίστοιχης εκτεταμένης. Με αλλαγές μπορεί να βελτιωθεί η προσαρμογή της, ωστόσο το όφελος δε θα είναι μεγάλο.

β. Στην εκτεταμένη Sterba η κατευθυντικότητα αγγίζει πολύ καλή τιμή (περίπου 14). Αλλά με το αρχικό μήκος αυτό συμβαίνει στη συχνότητα των 290MHz, ενώ πρέπει να συμβεί στα 300MHz και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται το μικρότερο φανταστικό μέρος για λόγους προσαρμογής. Μετά από έρευνα καταλήγουμε ότι χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων, έτσι ώστε αντί για 0.5m μήκος πλευράς σε κάθε τετράγωνο και 0.25m μήκος ακραίων τμημάτων, να έχουμε 0.4835m και 0.24174m αντίστοιχα(οι τιμές των νέων διαστάσεων προκύπτουν από τις παλιές με πολλαπλασιασμό με τον παράγοντα 290/300).

γ. Στη δεύτερη κεραία Bruce, εκτός από τις παραπάνω θεωρήσεις ως προς τα μήκη των πλευρών, για τον επιπλέον κλάδο, αυτός είναι εντελώς όμοιος με τον εκτός επιπέδου κλάδο τροφοδοσίας της κεραίας, με τη διαφορά ότι το τμήμα που εμπεριέχει την πηγή έχει μήκος μόνο 3mm και τα άλλα δύο τμήματα 0.0275m. Αυτές οι μετατροπές μας οδηγούν στο να έχουμε τελικά αντίσταση εισόδου στα 300MHz 175Ω ακριβώς, και κατευθυντικότητα 13.8.

δ. Στις πρώτης μορφής κεραίες Bruce η κατευθυντικότητα φτάνει μέχρι περίπου 6.5, είναι όμως σαφώς μικρότερη στα 300MHz. Στην περίπτωση αυτή, πολλαπλασιάζουμε τα μήκη των τμημάτων της πρώτης κεραίας Bruce με έναν αντίστοιχο παράγοντα, έτσι ώστε τα μήκη 0.125m και 0.25m να αντικαθίστανται από τις τιμές 0.162m και 0.324m αντίστοιχα. Ο κλάδος τροφοδοσίας έχει μήκος 3.6mm και πλάτος 3mm. Πραγματοποιώντας τις παραπάνω βελτιώσεις, επιτυγχάνεται βέλτιστη λειτουργία στα 300MHz με κατευθυντικότητα 7.04 και αντίσταση εισόδου ακριβώς 309Ω.

Γενικά όλες οι κεραίες Sterba-Bruce, που αναλύθηκαν είναι δικατευθυντικές (bidirectional) και broadside. Είναι ιδανικές για τις τηλεπικοινωνίες των βραχέων κυμάτων και όχι μόνο, λόγω του ότι προσφέρουν μια αναλογία κόστους-ωφέλειας που τις καθιστά εναλλακτικές λύσεις σε διάφορες τεχνικές.

2.16 : Μονοπολική κεραία με αντίβαρο.

Η μονοπολική κεραία με αντίβαρο είναι μια κατακόρυφη κεραία στην οποία εφαρμόζεται ένα βοηθητικό σύστημα (ηλεκτρομαγνητικό αντίβαρο) για να αυξήσει την απόδοση και τη συμπεριφορά της. Με τον όρο κατακόρυφη κεραία (Vertical Antenna) εννοούμε μία πραγματική μονοπολική κεραία, με τον αγωγό του μονοπόλου κατακόρυφο, που χρησιμοποιεί ως κατοπτρικό επίπεδο την επιφάνεια της γης ή άλλο τεχνητό σύστημα εδάφους. Με τον όρο ηλεκτρομαγνητικό αντίβαρο (Counterpoise) εννοούμε ένα βοηθητικό σύστημα εδάφους που αποτελείται από μία υπερυψωμένη συστοιχία από ένα ή

περισσότερα μονωμένα σύρματα, τοποθετημένα κάτω από την κεραία. Σκοπός του είναι να παρέχει στην κεραία ένα μονοπάτι υψηλής χωρητικότητας και χαμηλής αντίστασης προς τη γη. Καθώς το αντίβαρο εξελισσόταν, η συνιθησμένη του διάταξη κατέληξε να είναι ένα συμμετρικό σχέδιο από ακτινικά σύρματα που παίζουν τον ρόλο του "τεχνητού εδάφους".

Μελετήθηκε εντατικά από τους Archibald C.Doty, Jr., John A.Frey και Harry J.Mills, οι οποίοι πραγματοποίησαν πειράματα τοποθετώντας αρχικά μια μεγάλη κεραία στην κοιλάδα του Fletcher και έπειτα μια μικρότερη στην αυλή της οικίας του Archibald C.Doty, Jr., John A.Frey. Σύμφωνα με αυτούς για την πρώτη περίπτωση και μετά από πειράματα, παρατηρήθηκε ότι το μετρούμενο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας επηρεάζεται άμεσα από την αγωγιμότητα του εδάφους. Επίσης, προέκυψε ότι το αντίβαρο λειτουργεί σε άμεση αλληλεπίδραση με το έδαφος αλλά με έναν πολύ πιο πολύπλοκο τρόπο απ' ότι ένας πυκνωτής. Συγκεκριμένα κάθε μία από τις ακτίνες του αντίβαρου είναι συζευγμένη χωρητικά με το έδαφος από κάτω της. Οι ακτίνες λειτουργούν ως ένα μονοπάτι χαμηλής αντίστασης για τα ρεύματα επιστροφής και μάλιστα όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα του εδάφους τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα της ακτίνας. Παρόμοια ρεύματα, όμως κατά πολύ μικρότερα, παρατηρούνται να ρέουν και στο έδαφος ως αποτέλεσμα της χωρητικής αλληλεπίδρασης μεταξύ αντίβαρου και εδάφους. Το αντίβαρο λοιπόν, αυξάνει την απόδοση της κεραίας, διότι επιτρέπει στο ρεύμα της να επιστρέφει στη βάση μέσω των ακτίνων, ακολουθώντας έτσι, έναν δρόμο χαμηλών απωλειών. Αντίθετα τα ακτινωτά καλώδια σε ένα θαμμένο σύστημα οδηγούν τα ρεύματα επιστροφής μέσα από το μονοπάτι υψηλής αντίστασης του εδάφους κι έτσι αυξάνουν τις απώλειες. Είναι πιο αποδοτική η συλλογή ρευμάτων επαγωγής ως αποτέλεσμα επαγωγής μέσω του αέρα, παρά η συλλογή μέσα από το χαμηλό σε αγωγιμότητα έδαφος. Συμπερασματικά, για ίση απόδοση ένα αντίβαρο χρειάζεται λιγότερα ακτινικά καλώδια σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα θαμμένων ακτίνων. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνει ο αριθμός των ακτίνων τόσο μεγαλώνουν και τα ρεύματα επιστροφής, [23], σελ.1-5. Στα ίδια συμπεράσματα οδήγησε και η μελέτη της δεύτερης περιπτώσεως.

Η μονοπολική κεραία με αντίβαρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου χρειάζεται ευρεία κάλυψη, όπως στη ραδιοφωνική μετάδοση και την κινητή τηλεφωνία, λόγω του ότι ακτινοβολεί παν-κατευθυντικά. Με βάση όλα όσα ειπώθηκαν παραπάνω και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων της κεραίας αυτής (25 συνολικά), εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά της μονοπολικής κεραίας με αντίβαρο για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [23]. Τα μοντέλα που μελετήθηκαν υπολογιστικά και μετρήθηκαν αργότερα πειραματικά, δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

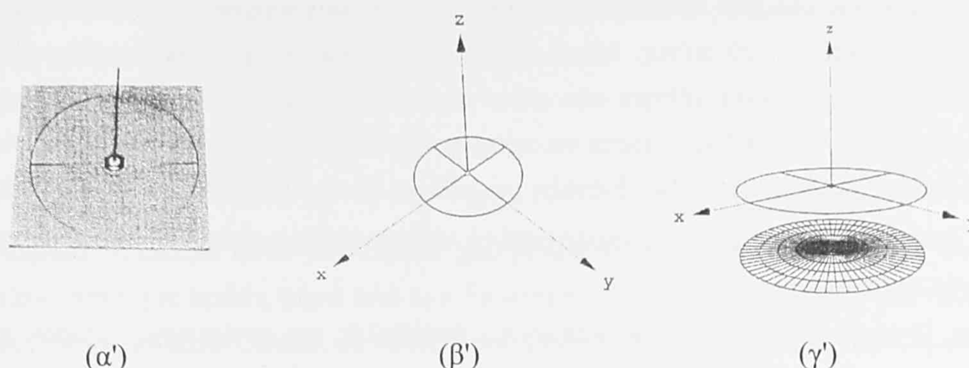
Ηλεκτρικό Μήκος Ακτίνας 14cm	Μήκος Κύματος Λειτουργίας [cm]	Συχνότητα Λειτουργίας [MHz]	Μήκος λ/4 Μονοπόλου[cm]
0.2λ	70.0	429	17.50
0.3λ	46.7	643	11.67
0.4λ	35.0	857	8.75
0.5λ	28.0	1071	7.00
0.6λ	23.3	1286	5.83

Όλα τα παραπάνω μοντέλα, όπως φαίνεται και από τον πίνακα αποτελούνται από συρμάτινα μονόπολα μήκους λ/4. Τα αντίβαρα αρχικά απαρτίζονταν από 4 ακτίνες και αυτό που μεταβαλλόταν ήταν το ηλεκτρικό μήκος (πρώτη στήλη του πίνακα) για την αντίστοιχη συχνότητα λειτουργίας (Σχήμα 2.20). Επειδή όμως, το συγκεκριμένο μέγεθος έκανε τις φυσικές διαστάσεις των κεραιών υπερβολικά μεγάλες και ήταν αδύνατο να μετρηθούν μέσα στον ανηχωικό θάλαμο του εργαστηρίου, θεωρήθηκε πρακτική η κατασκευή μοντέλων με σταθερή ακτίνα, και το επιθυμητό ηλεκτρικό μήκος θα επιτυγχανόταν με την επιλογή της κατάλληλης συχνότητας. Έτσι, μελετήθηκαν μοντέλα με 4, 8, 16, 24 και 32 ακτίνες και με τις κατάλληλες συχνότητες, όπως φαίνεται στον πίνακα παραπάνω, πήραμε ηλεκτρικά μήκη 0.2λ, 0.3λ, 0.4λ, 0.5λ και 0.6λ. Για τον προσδιορισμό της σταθερής ακτίνας έπρεπε να λάβουμε υπόψη τους περιορισμούς των οργάνων και του θαλάμου:

i. Ο ανηχωικός θάλαμος έχει διαθέσιμη "ζώνη σιγής"(δηλαδή τον χώρο όπου μπορεί να τοποθετηθεί η κεραία και να μετρηθεί χωρίς σφάλματα) μία νοητή σφαίρα περίπου 60cm.
ii. Λόγω υπαρκτών εμποδίων εξαιτίας του μηχανισμού περιστροφής της κεραίας στον θάλαμο, το μέγεθος της πλακέτας δεν έπρεπε να ξεπερνάει τα 29×29cm.
iii. Η γεννήτρια σημάτων του εργαστηρίου μπορεί να παράγει σήματα από 100MHz έως 1300MHz.

Τελικά καταλήξαμε σε σταθερό μήκος ακτίνας 14cm, που οδήγησε σε πλακέτες διαστάσεων 29×29cm. Έτσι, με δεδομένες διαστάσεις και δεδομένο ηλεκτρικό μήκος εύκολα προσδιορίστηκαν οι συχνότητες λειτουργίας, καθώς και τα υπόλοιπα στοιχεία του πίνακα. Όλες οι συχνότητες λειτουργίας που επιλέχθηκαν βρίσκονταν στο διαθέσιμο εύρος της γεννήτριας σημάτων. Καθένα από τα 5 μοντέλα στα οποία καταλήξαμε, μελετήθηκε σε 5 διαφορετικές συχνότητες (ή με 5 διαφορετικά μήκη ακτίνων), με αποτέλεσμα να προκύψουν συνολικά 25 περιπτώσεις.

Πριν από την κατασκευή των μοντέλων αυτών προηγήθηκε η ανάλυσή ενός από αυτά με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων (υπολογιστική μελέτη). Η περίπτωση που επιλέχθηκε ήταν αυτή των 8 ακτίνων στα 857MHz, δηλαδή σύμφωνα με την τρίτη γραμμή του παραπάνω πίνακα, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά της. Το κυριότερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Richwire. Επιπλέον, συντάχθηκε σε γλώσσα Visual C++ και το πρόγραμμα



Σχήμα 2.20 : Η μονοπολική κεραία με αντίβαρο 4 ακτίνων. (α') Φωτογραφία (κατασκευαστικό μοντέλο). (β') Γεωμετρία χωρίς προσθήκη κυκλικού δίσκου. (γ') Γεωμετρία με προσθήκη κυκλικού δίσκου.

JET, που αποτελεί έναν εύχρηστο viewer με τον οποίο με απλές εντολές μπορούμε να μοντελοποιήσουμε μια συρμάτινη κεραία σύμφωνα με τους περιορισμούς του Richwire και να τη δούμε σχεδιασμένη στον τρισδιάστατο χώρο. Με βάση, λοιπόν τα παραπάνω προγράμματα προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά του μοντέλου είναι ικανοποιητικές.

Οι παράμετροι που επηρέασαν τη συμπεριφορά του αποδείχτηκε ότι είναι:

i. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Επίσης, η ελάχιστη τιμή τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της ακτίνας του σύρματος ($d_{min} > 2\alpha$). Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση τη μεταβολή της αντίστασης εισόδου και της κατευθυντικότητας συναρτήσει των τμημάτων, [23], σελ.2-15,16, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός (20 τμήματα για το μονόπολο, 64 τμήματα για τον κύκλο και 20 τμήματα για κάθε ακτίνα του κύκλου).

ii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Διατηρώντας σταθερό φυσικό μήκος ακτίνας 14cm και σταθερό ηλεκτρικό μήκος μονοπόλου λ/4, πραγματοποιείται σάρωση με τη συχνότητα από 429MHz έως 1286MHz. Με τον τρόπο αυτό σαρώνεται το ηλεκτρικό μήκος της ακτίνας του αντίβαρου από 0.2λ έως και 0.6λ.

Μετά από την υπολογιστική μελέτη του ενός από τα 5 βασικά μοντέλα ακολούθησε η κατασκευή αυτών, τα οποία μετρήθηκαν στον ανηχοϊκό θάλαμο του εργαστηρίου με την εφαρμογή λογισμικού διεξαγωγής αυτοματοποιημένων μετρήσεων ANALYZE. Τα

μονόπολα των κεραιών ήταν συρμάτινα μήκους λ/4 και τα αντίβαρα τυπώθηκαν πάνω σε φωτοευαίσθητες πλακέτες. Μετά το τέλος των μετρήσεων, στα μοντέλα των 4, 16 και 32 ακτίνων προσαρτήθηκε στο κάτω μέρος ένας χάλκινος κυκλικός δίσκος ίδιας διαμέτρου με το αντίβαρο, ώστε να προσεγγίζει τη συμπεριφορά της παρουσίας του εδάφους (Σχήμα 2.20). Η όλη διάταξη μετρήθηκε ξανά για ηλεκτρικό μήκος 0.6λ.

Από την όλη διερεύνηση(υπολογιστική και κατασκευαστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Ο παρακάτω πίνακας αναγράφει τις μεταβολές της αντίστασης εισόδου και της σχετικής κατευθυντικότητας με την εισαγωγή του κυκλικού δίσκου στα μοντέλα των 4, 16 και 32 ακτίνων:

Αντίβαρο	$Z_{INP}(\Omega)$	D(dBd)
04#0.6 χωρίς δίσκο	71.60+j70.17	3.11
04#0.6 με δίσκο	60.12-j297.97	4.35
16#0.6 χωρίς δίσκο	40.97-j7.62	1.74
16#0.6 με δίσκο	49.01+j5.96	1.56
32#0.6 χωρίς δίσκο	54.30+j3.39	1.84
32#0.6 με δίσκο	54.98+j6.07	1.77

.

β. Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η εισαγωγή του κυκλικού δίσκου άσκησε σημαντική επιρροή και βελτίωσε την αντίσταση εισόδου προς τα 50Ω.

γ. Με την εισαγωγή του δίσκου, το διάγραμμα ακτινοβολίας βελτιώνεται, με τους κατώτερους λοβούς να μειώνονται σε μέγεθος, [23], σελ.3-85,87.

δ. Οι μετρήσεις είναι αρκετά ικανοποιητικές, δηλαδή προσεγγίζουν σε ανεκτό επίπεδο τα αποτελέσματα της υπολογιστικής μελέτης. Βέβαια υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις και ειδικά στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη συχνότητα των 429MHz. Στη συγκεκριμένη συχνότητα, η στάθμη του σήματος λήψης ήταν αρκετά χαμηλή, γύρω στα -60dB, δηλαδή κοντά στη στάθμη του θορύβου, οπότε οι αποκλίσεις ήταν αναμενόμενες. Στις μετρήσεις με τις μεγαλύτερες συχνότητες, οι αποκλίσεις που παρουσιάζονται είναι σαφώς μικρότερες, αλλά εξακολουθούν να εμφανίζονται. Αποδίδονται κυρίως στις εσωτερικές ασυμμετρίες του ανηχωικού θαλάμου και ειδικότερα στην παρασιτική παρουσία της γραμμής τροφοδοσίας, η οποία δε λήφθηκε υπόψη στην υπολογιστική μελέτη.

ε. Οι καλύτερες μετρήσεις, παραδόξως, φαίνονται να είναι αυτές που προέκυψαν από την οριζόντια πόλωση του αντίβαρου 4 ακτίνων, παρόλο που εξαρχής δεν ήταν αναμενόμενη σε κανένα μοντέλο η παρουσία οριζόντιας πόλωσης.

Γενικά τα 5 βασικά μοντέλα της μονοπολική κεραία με αντίβαρο που αναλύθηκαν, παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό SWR, αντίσταση εισόδου που πλησιάζει αυτή των 50Ω και ακτινοβολούν παν-κατευθυντικά. Επίσης, εμφανίζεται γραμμική πόλωση σε ένα από τα μοντέλα αυτά(με αντίβαρο 4 ακτίνων). Συνεπώς, μια τέτοια διάταξη μονοπόλου-

αντίβαρου είναι προτιμητέα σε εφαρμογές όπου χρειάζεται ευρεία κάλυψη, όπως στη ραδιοφωνική μετάδοση και την κινητή τηλεφωνία.

2.17 : Η κεραία Hentenna.

Η κεραία Hentenna είναι μια κεραία χαμηλού στάσιμου κύματος SWR, η οποία κατασκευάστηκε για πρώτη φορά από τον Sagami στο Τόκιο της Ιαπωνίας και τελειοποιήθηκε από τον Tadasi Okubo, σε συνεργασία με άλλους ραδιοερασιτέχνες. Σύμφωνα με αυτόν, αποτελείται από έναν τετραγωνικό βρόχο πλάτους $A=\lambda/6$ και ύψους $B=\lambda/2$. Σε απόσταση $C>\lambda/6$ από το κάτω μέρος της κεραίας τοποθετείται οριζόντιο στοιχείο, στο μέσο D του οποίου συνδέεται ομοαξονικό καλώδιο τροφοδοσίας των 50Ω (Σχήμα 2.21). Εκτός από την παραπάνω κεραία Hentenna, υπάρχουν και δύο ιδιαίτερα χρήσιμες παραλλαγές της: η Fork ή Half Hentenna, η οποία προκύπτει με τομή της Hentenna στον μέσον της, [24], σελ.1-5 και η Hat Hentenna, η οποία αποτελεί την κυκλική μορφή της, [24], σελ.1-5. Οι δύο αυτές κεραίες παρατίθενται μόνο αναφορικά.

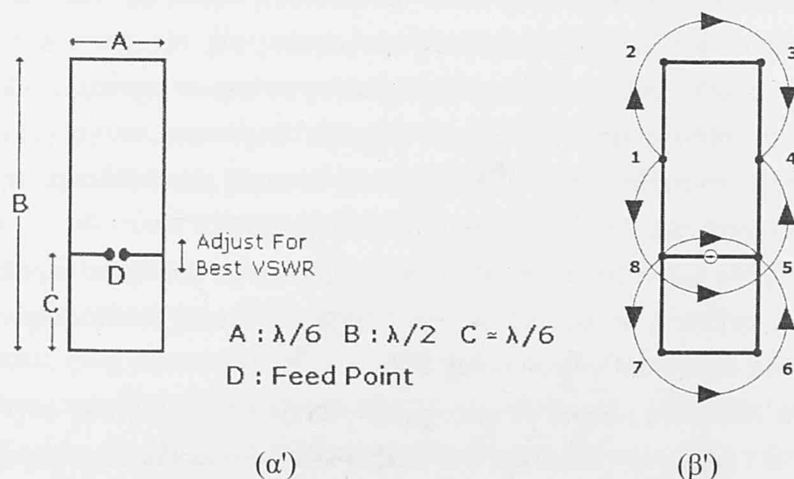
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η κεραία Hentenna έχει ορισμένες πολύ βασικές ιδιότητες, οι οποίες είναι:

i. Είναι πολύ απλή στην κατασκευή της.
ii. Παρουσιάζει οριζόντια πόλωση.
iii. Οι φυσικές της διαστάσεις δεν είναι καθοριστικής σημασίας. Κατά την υλοποίηση μπορούν να υπάρξουν διακυμάνσεις στο μέγεθός της, τάξης του ±10%.
iv. Μπορεί εύκολα να επιτευχθεί χαμηλός λόγος στάσιμου κύματος SWR, με κατάλληλη τοποθέτηση του οριζόντιου στοιχείου. Συγκεκριμένα, με μετακίνηση του οριζόντιου στοιχείου προς τα πάνω ή προς τα κάτω, μεταβάλλουμε την απόσταση C επιτυγχάνοντας όσο το δυνατόν χαμηλότερο SWR.
v. Έχει κέρδος 2.5-3dBd, το οποίο είναι συγκρίσιμο με αυτό μιας κεραίας Yagi-Uda δύο στοιχείων, η οποία έχει ως γνωστόν μεγαλύτερες διαστάσεις. Μια κεραία Hentenna ύψους 6m ζυγίζει μόλις 500gr.

Η κεραία Hentenna μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων(HF, VHF και UHF) με μεγάλη επιτυχία, για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος από σημείο μιας περιοχής προς σημείο μια άλλης, λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων που παρουσιάζει, χαμηλό λόγο στάσιμου κύματος SWR και κατευθυντική ακτινοβολία. Ωστόσο, δε μπορεί να θεωρηθεί κεραία ευρείας ζώνης, διότι τα χαρακτηριστικά της παρουσιάζουν σχετικά μικρές μεταβολές για στενό εύρος συχνοτήτων. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε βελτίωση του βιβλιογραφικού μοντέλου, με αποτέλεσμα να μετατραπεί η κεραία σε ευρυζωνική, διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω. Με βάση όλα όσα ειπώθηκαν παραπάνω και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων της κεραίας Hentenna(το βασικό μοντέλο και 19 επιπλέον), εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως

το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά της Hentenna για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [24].

Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση της κεραίας Hentenna, η οποία αποτελείται από τρία δίπολα τύπου Π (Σχήμα 2.21). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη γιατί είναι η απλούστερη κεραία αυτής της ομάδας, απαιτεί μικρό σχετικά αριθμό πράξεων. Αρχικά η όλη διάταξη αντιμετωπίστηκε με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων, [24], σελ.2-3. Σύμφωνα με αυτή, για κάθε δίπολο λ/2 έχουμε και ένα στάσιμο κύμα. Τα βέλη δηλώνουν τη φορά του ρεύματος. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα τρία κύρια επίπεδα και τον χώρο. Κατόπιν, συντάχθηκαν δύο προγράμματα σε γλώσσα fortran τα οποία πραγματοποιούν, αντίστοιχα, αποτίμηση των εκφράσεων του διαγράμματος ακτινοβολίας, ανα 1 μοίρα για τον χώρο και ανά 1 μοίρα για τα 3 κύρια επίπεδα. Στην περίπτωση των 3 κύριων επιπέδων, ακολουθεί και κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή του διαγράμματος στα επίπεδα αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.



Σχήμα 2.21 : Η κεραία Hentenna. (α') Η βασική μορφή της, όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία. (β') Σύμφωνα με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων(θεωρητικό μοντέλο).

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της κεραίας Hentenna και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση (υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας (20 στο σύνολο), με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια

βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire. Επιπλέον, συντάχθηκε σε γλώσσα fortran και το πρόγραμμα Hentenna, το οποίο χωρίζει την κεραία σε τμήματα υποπολλαπλάσια του λ/6 και μετακινεί το τροφοδοτούμενο δίπολο σε θέση πολλαπλάσια του λ/12. Η μέγιστη θέση που μπορεί να πάρει είναι μέχρι τη μέση του εξωτερικού πλαισίου. Με βάση, λοιπόν τα παραπάνω προγράμματα και το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές.

Η συχνότητα κατασκευής των μοντέλων της κεραίας Hentenna που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι f=1111MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=0.27m. Η τιμή αυτή επιλέγεται επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχοικό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μέτρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ($\alpha < 0.01\lambda$). Επιπλέον, το ελάχιστο μήκος κάθε τμήματος, από τα οποία αποτελείται το μοντέλο, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο της ακτίνας του σύρματος ($d_{min} > 2\alpha$).

Για την κεραία Hentenna, οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της είναι:

i. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για το θεωρητικό μοντέλο της κεραίας Hentenna που αναλύθηκε παραπάνω. Το χώρισμα σε κεραίας σε τμήματα γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος Hentenna, το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργήσει το κατάλληλο αρχείο εισόδου για την εισαγωγή του στο Richwire. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα ($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση τη μεταβολή της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων στον χάρτη Smith, [24], σελ.3-6, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμόσ(108 τμήματα).

ii. Η θέση του τροφοδοτούμενου(οδηγούμενου) στοιχείου. Αυτή επιλέγεται με τη βοήθεια του προγράμματος Hentenna και για κάθε περίπτωση υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της κεραίας. Σκοπός είναι να βρεθεί η βέλτιστη θέση, για την οποία ο λόγος στάσιμου κύματος SWR είναι ο χαμηλότερος δυνατός. Έτσι πραγματοποιείται σάρωση της απόστασης ανά λ/12 από το κάτω άκρο της κεραίας μέχρι το μέσο των κάθετων πλευρών, αφού από εκεί και πέρα τα αποτελέσματα είναι τα ίδια, λόγω συμμετρίας του σχήματος της κεραίας. Η βέλτιστη θέση προσδιορίζεται περίπου ίση με λ/6 από το κάτω άκρο της κεραίας.

iii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του μοντέλου της κεραίας Hentenna της περίπτωσης ii, για την οποία η βέλτιστη θέση του ενεργού στοιχείου είναι λ/6 από το κάτω άκρο της κεραίας και ο αριθμός των

τμημάτων 108. Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=1111MHz), διερευνάται η συμπεριφορά της κεραίας Hentenna για ένα εύρος συχνοτήτων 900-1300MHz ανά 10MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=1111MHz.

Με το Richwire και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων(το βασικό μοντέλο και 19 επιπλέον) μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Μετά από την υπολογιστική αυτή μελέτη πραγματοποιήθηκε κατασκευή των τεσσάρων από αυτά, τα οποία μετρήθηκαν στον ανηχοικό θάλαμο του εργαστηρίου με την εφαρμογή λογισμικού διεξαγωγής αυτοματοποιημένων μετρήσεων ANALYZE. Το πρώτο μοντέλο(ύψος H=λ/2, πλάτος W=λ/6, απόσταση ενεργού από το ακρο της κεραίας d=12λ/72) ήταν η κεραία που προτείνεται από τη βιβλιογραφία. Το δεύτερο(ύψος H=λ/2, πλάτος W=λ/6, απόσταση ενεργού από το ακρο της κεραίας d=7λ/72) ήταν αυτό που από την προσομοίωση βρέθηκε ότι δίνει το χαμηλότερο SWR. Το τρίτο(ύψος H=λ/2, πλάτος W=λ/4, απόσταση ενεργού από το ακρο της κεραίας d=13λ/72) ήταν ένα από τα επιπλέον μοντέλα που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκε γιατί βρέθηκε ότι έδινε παρόμοιο διάγραμμα ακτινοβολίας με την Hentenna και είχε παράλληλα μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Το τελευταίο μοντέλο(ύψος H=3λ/4, πλάτος W=λ, απόσταση ενεργού από το ακρο της κεραίας d=18λ/72), αν και διέφερε αρκετά από την Hentenna, κατασκευάστηκε για να αναδειχτούν οι διαφοροποιήσεις στο διάγραμμα ακτινοβολίας. Οι λεπτομέρειες της κατασκευής δίνονται αναλυτικά, [24], σελ.6-2,7. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα μοντέλα ήταν συρμάτινα, διότι οι μικρές διαστάσεις που παρουσίαζαν τα τρία από τα τέσσερα δημιουργούσαν πρόβλημα στη σύνδεση του connector επάνω στη διάταξη. Επιπλέον, οι κεραίες επειδή μετρήθηκαν σε συγκεκριμένο ανηχοικό θάλαμο οι διαστάσεις τους δε θα έπρεπε να ξεπερνούν τα 29×29cm, δηλαδή το ένα μήκος κύματος για συχνότητα λειτουργίας 1111MHz.

Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική, υπολογιστική και κατασκευαστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Ο παρακάτω πίνακας αναγράφει τις βέλτιστες επιλογές λειτουργίας των τεσσάρων μοντέλων της κεραίας Hentenna για τα 1111MHz:

	$Z_{INP}(\Omega)$	SWR(50Ω)	D(dBd)
Βιβλιογραφία	65-j190	13.05	3.11
Quad	92-j134	6.17	0.92
Το βελτιωμένο μοντέλο Hentenna	66-j17	1.53	3.09
Το μοντέλο Hentenna με παρόμοιο διάγραμμα ακτινοβολίας	148-j31	3.1	2.62
Το μοντέλο Hentenna με διαφορετικό διάγραμμα ακτινοβολίας	91+j12	1.86	1.78

β. Το μοντέλο της Hentenna που εμείς προτείνουμε παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή από τα τέσσερα μοντέλα που κατασκευάστηκαν για το SWR(στα 50Ω) ίση με 1.53.

γ. Η τιμή της κατευθυντικότητας των 3dBd για την κεραία Hentenna της βιβλιογραφίας που είχε μετρηθεί πειραματικά επιβεβαιώθηκε και υπολογιστικά.

δ. Η κεραία Hentenna που εμείς προτείνουμε έχει εύρος ζώνης $\pm 1.5\%$ κι αυτό μας οδηγεί να την χαρακτηρίσουμε ως μια κεραία στενού εύρους ζώνης.

ε. Η κεραία ονομάστηκε Hentenna από τη λέξη Hen που στα ιαπωνικά σημαίνει θαυματουργός. Αυτό έγινε επειδή στις αρχές του 70 με τα υπολογιστικά μέσα που υπήρχαν ήταν δύσκολο να εξηγηθεί η συμπεριφορά της. Την εποχή εκείνη δε μπορούσαν να κατανοήσουν ότι παρουσίαζε οριζόντια πόλωση. Ωστόσο, αποδείχτηκε, από τη θεωρητική μελέτη, ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας στην κάθετη προς το επίπεδο της κεραίας διεύθυνση οφείλεται μόνο στα οριζόντια τμήματα της κεραίας, αφού στα κάθετα τμήματα τα ρεύματα είναι ανά δύο ίσα και αντίθετα με αποτέλεσμα το πεδίο τους να μηδενίζεται, [24], σελ.2-16.

Γενικά τα τέσσερα μοντέλα της κεραίας Hentenna που αναλύθηκαν, παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό SWR(για βέλτιστη απόσταση του ενεργού στοιχείου από το κάτω άκρο της κεραίας και βέλτιστο ύψος και πλάτος του εξωτερικού πλαισίου) και γραμμική πόλωση. Οι ιδιότητες αυτές την καθιστούν προτιμητέα σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων (HF, VHF και UHF) κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος από σημείο προς σημείο. Ωστόσο, δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που χρειάζονται κεραίες ευρείας ζώνης.

2.18 : Η κεραία Diamondback.

Η κεραία Diamondback είναι ένα μέλος της οικογένειας των Zig-Zag κεραιών, [25], σελ.1-2, της οποίας το όνομα δόθηκε από τον Floyd Koontz, WA2WVL, έναν ραδιοερασιτέχνη από την Homosassa των ΗΠΑ. Παρουσιάζει παρόμοια ρευματική κατανομή με μια κεραία Bruce, [22], ένας από τους λόγους για τους οποίους μελετήθηκε η Diamondback.

Ειδικότερα, η κεραία Diamondback είναι μια διπλοκατευθυντική κεραία κατασκευασμένη από καλώδιο και σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να αναρτηθεί σε ήδη υπάρχοντα πύργο. Πρόκειται για ένα συνεχές κομμάτι καλωδίου που διατρέχει τον πύργο από την κορυφή ως τη γη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.22, όπου αναγράφονται και οι ρευματικές κατανομές σε κάθε τμήμα. Ο αριθμός των διαμαντιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τη συχνότητα που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και το ύψος του πύργου. Κάθε πλευρά του διαμαντιού έχει μήκος λ/2. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.22 τα οριζόντια ρεύματα προσθέτονται, ενώ τα κάθετα αλληλοαναιρούνται με αποτέλεσμα να δημιουργείται οριζόντια πόλωση. Θα πρέπει επίσης να επισημάνουμε,

ότι ο πύργος στον οποίο έχει αναρτηθεί η κεραία Diamondback είναι μια μεταλλική κατασκευή, η οποία εξαιτίας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένη ακτινοβολεί όταν διαρρέεται από ρεύμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επηρεάζεται η συμπεριφορά της κεραίας.

Η τροφοδοσία σε μια κεραία Diamondback, σύμφωνα με τον Floyd Koontz, πραγματοποιείται στο κάτω μέρος ή στο κέντρο κάθε διπόλου. Το κάτω άκρο της εντούτοις είναι το πιο βολικό σημείο για την τροφοδοσία μιας και βρίσκεται κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Η ελάχιστη αύξηση του κέρδους της κεραίας που παρατηρήθηκε τροφοδοτώντας την σε αυτό το σημείο, είναι περισσότερο επιθυμητή από τις απώλειες που θα είχαμε λόγω του ομοαξονικού καλωδίου, το οποίο θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε για την τροφοδοσία της κεραίας σε κάποιο άλλο σημείο με μεγαλύτερο ύψος. Τροφοδοτώντας την κεραία παρατηρήθηκε και συμμετοχή του πύργου στο διάγραμμα ακτινοβολίας, εφόσον λόγω του ρεύματος που έρεε προς το έδαφος ακτινοβολούσε εκτός από την κεραία και ολόκληρος ο πύργος. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μερικές κάθετα πολωμένες δέσμες ακτινοβολίας, λόγω του πύργου σε γωνίες μεγαλύτερες των 60 μοιρών στα 21MHz. Το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίστηκε θεωρώντας το σημείο τροφοδοσίας να έχει απόσταση αρκετά μικρότερη από λ/4 από το έδαφος, οπότε η ακτινοβολία από τον πύργο ελαχιστοποιήθηκε.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η κεραία Diamondback έχει ορισμένες πολύ βασικές ιδιότητες, οι οποίες είναι:

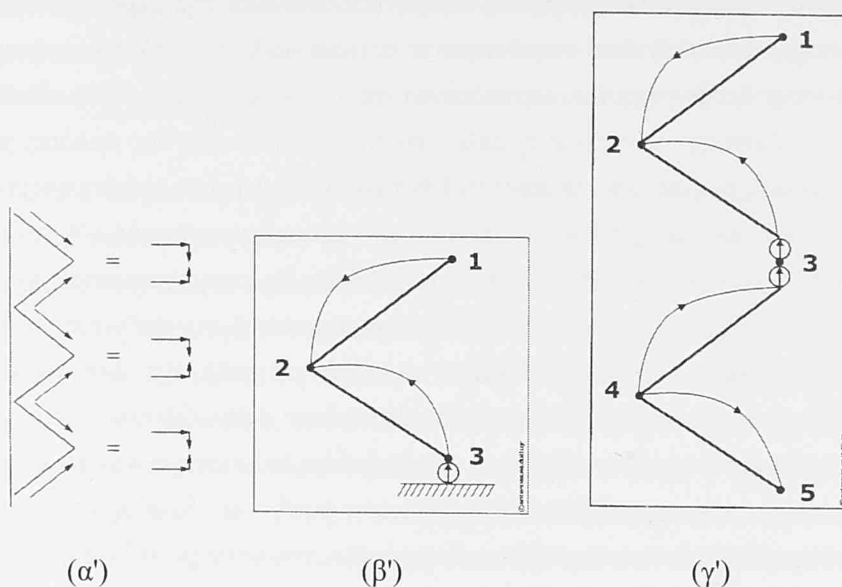
i. Είναι πολύ απλή στην κατασκευή της.
ii. Παρέχει υψηλό κέρδος.
iii. Παρουσιάζει οριζόντια πόλωση.
iv. Εκπέμπει πλατιά οριζόντια δέσμη ακτινοβολίας.
v. Δικατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας.
vi. Το σημείο τροφοδοσίας βρίσκεται κοντά στη γη.
vii. Ακτινοβολεί όμοια με κάθετα ενωμένα δίπολα πλευρικά των διαμαντιών.

Η κεραία Diamondback μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στα VHF όσο και στα UHF κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας, εξασφαλίζοντας μια επικοινωνία από σημείο προς σημείο, λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων που παρουσιάζει. Συγκεκριμένα για τη ζώνη των UHF, είναι πολλά υποσχόμενη και ως κεραία για τηλεοπτική λήψη. Κι αυτό γιατί, έναντι μιας κεραίας Yagi, εμφανίζει μικρότερη ευαισθησία στις μεταβολές της συχνότητας και μεγαλύτερη κατευθυντικότητα. Με βάση τη διατύπωση αυτή και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων της κεραίας Diamondback, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά της Diamondback για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [25].

Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση της κεραίας Diamondback, η οποία αποτελείται από ένα διαμάντι, του οποίου κάθε πλευρά έχει μήκος λ/2, και το σημείο τροφοδοσίας της βρίσκεται κοντά στο έδαφος (Σχήμα 2.22). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη γιατί είναι η απλούστερη κεραία αυτής της ομάδας, απαιτεί μικρό σχετικά αριθμό πράξεων και αποτελεί ένα σκαλοπάτι για τη μελέτη της αντίστοιχης εκτεταμένης. Επίσης, δε έχει ληφθεί υπόψη και η γραμμή μεταφοράς λ/4 που χρειάζεται για την τροφοδοσία της κεραίας. Αρχικά η όλη διάταξη αντιμετωπίστηκε με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων, [25], σελ.2-2,4. Σύμφωνα με αυτή, για κάθε δίπολο λ/2 έχουμε και ένα στάσιμο κύμα. Τα βέλη δηλώνουν τη φορά του ρεύματος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η Diamondback δεν βρισκόταν στον ελεύθερο χώρο, λόγω του ότι στη διαμόρφωση του διαγράμματος ακτινοβολίας συμμετέχει και το έδαφος. Έτσι, προσπαθώντας να συμπεριλάβουμε την επίδραση αυτή του εδάφους στις ιδιότητες της Diamondback στους υπολογισμούς μας, θεωρήσαμε την ύπαρξη Τέλειου Αγώγιμου Επίπεδου(Τ.Α.Ε.), στο επίπεδο του εδάφους και πήραμε το κατοπτρικό είδωλο της κεραίας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μια νέα γεωμετρία για την κεραία μας (Σχήμα 2.22). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα τρία κύρια επίπεδα και τον χώρο. Κατόπιν, συντάχθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα fortran το οποίο πραγματοποιεί αποτίμηση των εκφράσεων του διαγράμματος ακτινοβολίας, ανα 1 μοίρα για τον χώρο και ανά 1 μοίρα για τα 3 κύρια επίπεδα. Στην περίπτωση των 3 κύριων επιπέδων, ακολουθεί και κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή του διαγράμματος στα επίπεδα αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη μετά τη ύπαρξη του Τ.Α.Ε., θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.

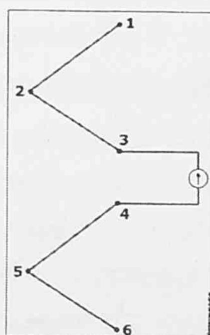
Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της κεραίας Diamondback και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση (υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας, με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές.

Η συχνότητα κατασκευής των παραπάνω μοντέλων της κεραίας Diamondback είναι f=1111MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=0.27m. Η τιμή αυτή επιλέγεται επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχοϊκό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μετρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητας (α<0.01λ). Όλα τα μοντέλα της κεραίας Diamondback, που αναλύθηκαν, τροφοδοτούνται μέσω μιας γραμμής μεταφοράς λ/4 (Σχήμα 2.23). Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθεί η μεγάλη αν-



Σχήμα 2.22 : Η κεραία Diamondback. (α') Η ρευματική κατανομή της, όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία. (β') Σύμφωνα με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων (θεωρητικό μοντέλο). (γ') Μετά τη θεώρηση της ύπαρξης τέλειου αγώγιμου επιπέδου (θεωρητικό μοντέλο).

τίσταση εισόδου που εμφανίζεται από την απευθείας σύνδεση της πηγής με την κεραία, λόγω του ότι σε εκείνο το σημείο το ρεύμα είναι ασθενές.



Σχήμα 2.23 : Η κεραία Diamondback μετά την προσθήκη της γραμμής μεταφοράς λ/4 (μοντέλο υπολογιστικής μελέτης).

Για την κεραία Diamondback, οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της είναι:

i. Η θέση του σημείου τροφοδοσίας. Αν η πηγή τροφοδοτεί απευθείας την κεραία, όπως συμβαίνει στο θεωρητικό μοντέλο, τότε στο σημείο τροφοδοσίας θα εμφανίζεται μηδενισμός ρεύματος και η αντίσταση εισόδου θα είναι πολύ μεγάλη(560-j400Ω). Αν λάβουμε υπόψη ότι στην πράξη οι περισσότερες κεραίες συνδέονται

με ομοαξονικό καλώδιο των 50Ω, θα πρέπει τότε να εξασφαλίσουμε για την κεραία αντίσταση εισόδου της ιδίας τιμής, έτσι ώστε να έχουμε προσαρμογή. Για τον λόγο αυτό προσθέτουμε μια γραμμή μεταφοράς λ/4, με αποτέλεσμα το ρεύμα στην πηγή να γίνεται μέγιστο και η τιμή της αντίστασης να μικραίνει σημαντικά.

ii. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Το χώρισμα σε κεραίας σε τμήματα γίνεται με τη βοήθεια ενός προγράμματος σε γλώσσα fortran, το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργήσει το κατάλληλο αρχείο εισόδου για την εισαγωγή του στο Richwire. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση των διαγραμάτων της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων στο μιγαδικό επίπεδο, [25], σελ.3-6, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός.

iii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του κάθε μοντέλου της κεραίας Diamondback, που αναλύθηκε. Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=1111MHz), διερευνάται η συμπεριφορά της Diamondback για ένα εύρος συχνοτήτων 900-1300MHz ανά 10MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=1111MHz.

iv. Η θέση του πύργου και πιο συγκεκριμένα του σημείου στήριξης της Diamondback. Λόγω του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο πύργος, ακτινοβολεί όταν διαρρέεται από ρεύμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας να τροποποιείται και να παρουσιάζονται μεταβολές στις πραγματικές τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών της κεραίας, όπως η κατευθυντικότητα, η αντίσταση εισόδου αλλά και ο λόγος στάσιμων κυμάτων. Για να βρεθεί η βέλτιστη θέση του πύργου στήριξης πραγματοποιείται σάρωση στην περιοχή από 0 έως 0.15m (0 έως λ/2), μετακινώντας τον πύργο στήριξης με βήμα 0.005m απομακρυνόμενοι από την Diamondback.

Με το Richwire και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας Diamondback, όπως προέκυψε από τη θεωρητική μελέτη, [25], σελ.2-14 και απο τα διαγράμματα σύγκρισης θεωρητικών αποτελεσμάτων και μεθόδου προσομοίωσης, [25], σελ.4-41,43, προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια το αντίστοιχο που προκύπτει από το Richwire.

β. Το ίδιο διάγραμμα πιστοποιεί τη δι-κατευθυντική ιδιότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας που αναφέρει ο Floyd Koontz, [25], σελ.1-3,4. Το γεγονός ότι θεωρήσαμε την ύπαρξη τέλειου αγώγιμου επιπέδου στο σημείο όπου ο Floyd

Koontz τροφοδοτεί την Diamondback δεν αλλάζει την παραπάνω ιδιότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αγνοήσουμε το κάτω μέρος του διαγράμματος, οπότε το κατωπτρικό άνω μέρος του παρατηρούμε ότι διατηρεί τις δι-κατευθυντικές του ιδιότητες.

γ. Η αντίσταση εισόδου είναι σχεδόν σταθερή σε ένα συχνοτήτων 1000-1200MHz, [25], σελ.3-11.

δ. Για την παραπάνω περιοχή συχνοτήτων, ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται η κατευθυντικότητα της κεραίας φθίνει παρουσιάζοντας έτσι μια σχετικά σταθερή συμπεριφορά, [25], σελ.3-10.

ε. Στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, ο λόγος στάσιμων κυμάτων είναι πολύ καλός, ίσος περίπου με 2, γεγονός που καθιστά τη συγκεκριμένη περιοχή ιδανική για λειτουργία της κεραίας, [25], σελ.3-12.

στ. Οι ιδανικές θέσεις για τον πύργο στήριξης είναι σε απόσταση από την κεραία 0.2λ και μεγαλύτερη από 1λ. Στις θέσεις αυτές η επίδραση του πύργου στο διάγραμμα ακτινοβολίας είναι μηδαμινή, [25], σελ.3-14,19.

ζ. Η παρουσία του πύργου στήριξης στην περιοχή 0-0.2λ έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της κατευθυντικότητας κατά ένα dB.

Γενικά η κεραία Diamondback που αναλύθηκε, μαζί με τα συρμάτινα μοντέλα της, είναι διπλοκατευθυντική. Όπως αποδείχτηκε λειτουργεί σε μεγάλο εύρος ζώνης, παρουσιάζει υψηλή κατευθυντικότητα και γραμμική πόλωση. Οι ιδιότητες αυτές την καθιστούν προτιμητέα σε εφαρμογές τόσο στα VHF όσο και στα UHF, με κυριότερη τη χρήση της ως κεραία για τηλεοπτική λήψη, έναντι μιας Yagi.

2.19 : Η κεραία BowTie.

Η κεραία BowTie είναι μια κεραία που προσεγγίζει σε συμπεριφορά αυτήν ενός διπόλου λ/2, [26], σελ.1-1,2. Ωστόσο πλεονεκτεί έναντι αυτού στο ότι παρουσιάζει αντίσταση εισόδου 50Ω. Η κεραία BowTie είναι γνωστή και ως fan dipole και μελετήθηκε από τον ραδιοερασιτέχνη L.B.Cebic, W4RNL, ο οποίος της έδωσε κι αυτό το όνομα.

Ειδικότερα, η κεραία BowTie αποτελείται από ένα κεντρικό οριζόντιο μέλος και δύο τριγωνικούς βρόχους λεπτού σύρματος εκατέρωθεν αυτού. Η τροφοδοσία της, σύμφωνα με τον L.B.Cebic, πραγματοποιείται στο μέσο του οριζόντιου τμήματος. Η ύπαρξη του αγώγιμου αυτού τμήματος αυξάνει τη συχνότητα λειτουργίας της κεραίας BowTie, σε σύγκριση με μια BowTie ίδιου μεγέθους και χωρίς την προσθήκη του συγκεκριμένου μέλους. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε αλλαγές στη ρευματική κατανομή, επειδή το κεντρικό μέλος διαρρέεται από ρεύμα.

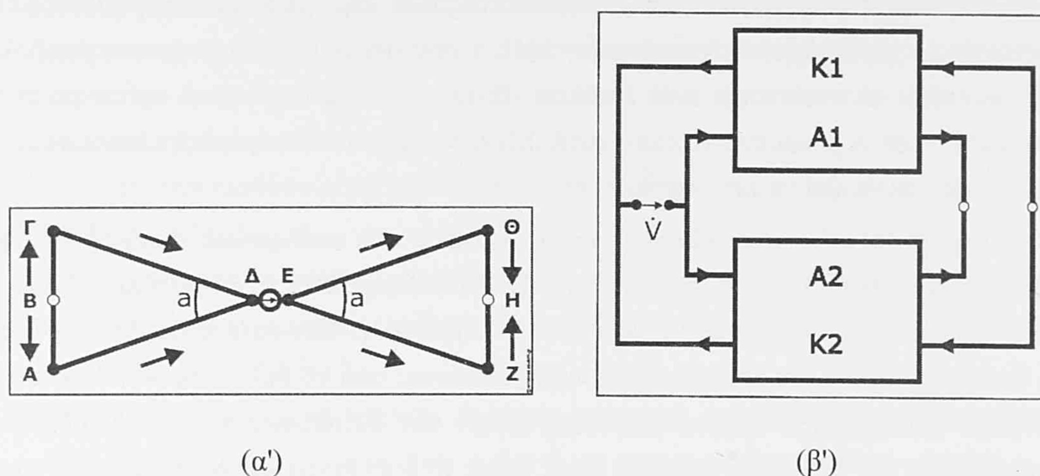
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, για μια κεραία BowTie ο λόγος στάσιμων κυμάτων (SWR) συναρτήσει της συχνότητας εμφανίζει χαμηλή τιμή, της τάξης του 1.5 και λιγότερο, για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, [26],σελ.1-3, γεγονός που την καθιστά ευ-

ρυζωνική. Ωστόσο, η BowTie με τις διαστάσεις που περιγράφεται στη βιβλιογραφία παρουσιάζει χαρακτηριστική αντίσταση 50Ω. Όσον αφορά το διάγραμμα ακτινοβολίας, πλησιάζει το αντίστοιχο ενός διπόλου. Επίσης, το κέρδος του σε σχέση με αυτό του διπόλου είναι μειωμένο περίπου κατά 0.1dB (ασήμαντα κλασματική μείωση) και δε μπορεί να ανιχνευθεί σε λειτουργία.

Η κεραία BowTie είναι ιδανική για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος προς ή από μια ευρεία περιοχή η οποία περιβάλλει το σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε την κεραία, λόγω του ότι ακτινοβολεί παν-κατευθυντικά. Με βάση τη διατύπωση αυτή και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων αυτών των διατάξεων, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά της BowTie για ενδεχόμενη πρακτική χρήση, [26].

Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση της κεραίας BowTie, η οποία αποτελείται από δύο τριγωνικούς βρόχους μήκους λ/2 ο καθένας (Σχήμα 2.24). Στη θεωρητική μελέτη δεν έχει ληφθεί υπόψη το κεντρικό οριζόντιο μέλος που συνδέει τους δύο τριγωνικούς βρόχους και στο οποίο βρίσκεται το σημείο τροφοδοσίας της κεραίας. Αρχικά η όλη διάταξη αντιμετωπίστηκε με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων, [26], σελ.2-2,3. Σύμφωνα με αυτή, για κάθε δίπολο λ/2 έχουμε και ένα στάσιμο κύμα. Τα βέλη δηλώνουν τη φορά του ρεύματος. Επομένως, με βάση την παρπάνω παραδοχή, για κάθε τριγωνικό βρόχο εμφανιζόταν και ένα στάσιμο κύμα με αποτέλεσμα τον μηδενισμό του ρεύματος στο σημείο τροφοδοσίας. Για να αποτραπεί αυτό, θεωρήσαμε ότι το πάνω δεξί και αριστερό τμήμα των δύο τριγωνικών βρόχων αποτελούν ένα δίθυρο και τα κάτω τμήματα ένα δεύτερο. Τα δύο αυτά δίθυρα συνδέονται παράλληλα (Σχήμα 2.24). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα τρία κύρια επίπεδα και τον χώρο. Κατόπιν, συντάχθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα fortran το οποίο πραγματοποιεί αποτίμηση των εκφράσεων του διαγράμματος ακτινοβολίας, ανα 1 μοίρα για τον χώρο και ανά 1 μοίρα για τα 3 κύρια επίπεδα. Στην περίπτωση των 3 κύριων επιπέδων, ακολουθεί και κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή του διαγράμματος στα επίπεδα αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της κεραίας BowTie και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση(υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας, με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire. Με βάση το θεωρητικό



(α') (β')

Σχήμα 2.24 : Η κεραία BowTie. (α') Σύμφωνα με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων(θεωρητικό μοντέλο). (β') Μετά τη θεώρηση της ύπαρξης δύο διθύρων(θεωρητικό μοντέλο).

μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές.

Η συχνότητα κατασκευής των μοντέλων της κεραίας BowTie που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι f=1111MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=0.27m. Η τιμή αυτή επιλέγεται επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχοικό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μέτρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητας ($\alpha<0.01\lambda$). Επιπλέον, το ελάχιστο μήκος κάθε τμήματος, από τα οποία αποτελείται το μοντέλο, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο της ακτίνας του σύρματος ($d_{min} > 2\alpha$).

Για την κεραία BowTie, οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της είναι:

i. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για μια BowTie με γωνία a=37.5° και το μήκος του κάθε τριγωνικού βρόχου ίσο με 0.47λ. Το χώρισμα σε κεραίας σε τμήματα γίνεται με τη βοήθεια ενός προγράμματος σε γλώσσα fortran, το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργήσει το κατάλληλο αρχείο εισόδου για την εισαγωγή του στο Richwire. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση των διαγραμάτων της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων στο μιγαδικό επίπεδο, [26], σελ.3-3, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός.

ii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του μοντέλου της κεραίας BowTie, που αναλύθηκε παραπάνω(περίπτωση i). Διατηρώντας το μήκος των στοιχείων σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=1111MHz), διερευνάται η συμπεριφορά της BowTie για ένα εύρος συχνοτήτων 900-1300MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=1111MHz.

iii. Η γωνία ανοίγματος a του κάθε τριγωνικού βρόχου. Διατηρώντας το μήκος κάθε τριγώνου σταθερό και ίσο με λ/2, διερευνάται η συμπεριφορά της BowTie για ένα εύρος από 10°-170°, με βήμα 10°.

Με το Richwire και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Ο παρακάτω πίνακας αναγράφει τις βέλτιστες επιλογές λειτουργίας των διαφόρων μορφών της κεραίας BowTie που αναλύθηκαν:

	$Z_{INP}(\Omega)$	SWR(50Ω)	D(dBd)
Βιβλιογραφία	50	1.27	-0.27
Υπολογιστική μελέτη	54+j1	1.08	-0.08
Το μοντέλο με a=10°	121+j70	3.4	0.04
Το μοντέλο με a=90°	20-j40	4.3	-0.11
Το μοντέλο με a=170°	-j80	553.5	-0.26

β. Τα αποτελέσματα της κεραίας BowTie που αναφέρονται στη βιβλιογραφία επιβεβαιώνονται και στην υπολογιστική μελέτη.

γ. Από τη σάρωση με τη συχνότητα προκύπτει ότι ο λόγος SWR είναι κάτω από 2 για περίπου 200MHz. Αυτό σημαίνει πως η BowTie είναι ευρυζωνική.

δ. Από τα παραπάνω μοντέλα το πιο καλό είναι αυτό με a=10°, αφού έχει την καλύτερη κατευθυντικότητα και μικρό SWR.

ε. Σε σχέση με το αρχικό μοντέλο με γωνία a=37.5° δεν έχουμε βελτίωση.

Γενικά η κεραία BowTie που αναλύθηκε, μαζί με τα συρμάτινα μοντέλα της, λειτουργεί σε μεγάλο εύρος ζώνης, παρουσιάζει υψηλή κατευθυντικότητα, γραμμική πόλωση και συμπεριφορά ως προς το διάγραμμα ακτινοβολίας παρόμοια με αυτή ενός διπόλου, δηλαδή ακτινοβολεί παν-κατευθυντικά. Οι ιδιότητες αυτές την καθιστούν προτιμητέα για περιπτώσεις που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος προς ή από μια ευρεία περιοχή η οποία περιβάλλει το σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε την κεραία.

2.20 : Η συστοιχία Quad (Quad Arrays).

Η συστοιχία Quad ανήκει στην κατηγορία των κατευθυντικών κεραιών ευρείας ζώνης. Βασίζεται στις συστοιχίες Yagi-Uda, με τη διαφορά ότι αποτελείται από κλειστά στοιχεία αγώγιμου υλικού περιμέτρου ενός μήκους κύματος, αντί για δίπολα λ/2. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται συνήθως σε τετραγωνική μορφή και για τον λόγο αυτό η κεραία πήρε το συγκεκριμένο όνομα Quad(Quad: τέσσερα, τετράγωνος, τετραπλευρικός). Κατασκευάστηκε από τον ραδιοερασιτέχνη Clarence Moore, W9CLF στο Κίτο του Ισημερινού και σκοπός του ήταν να αντιμετωπίσει προβλήματα, όπως εισαγωγή θορύβου από το ηλεκτρικό φορτίο της βροχής ή του χιονιού, τα οποία εμφανίζονταν από τη χρήση μιας Yagi-Uda.

Η βασική συστοιχία Quad, σύμφωνα με τον Clarence Moore, αποτελείται από ένα τετραγωνικού σχήματος τροφοδοτούμενο στοιχείο ενός μήκους κύματος και ένα παρασιτικό στοιχείο ως ανακλαστήρα, επίσης τετραγωνικού σχήματος και ενός μήκους κύματος [27], σελ.1-2. Το επίπεδο των δύο αυτών στοιχείων είναι κάθετο προς την επιφάνεια της γης, ενώ δύο πλευρές από το καθένα είναι παράλληλες προς αυτή. Η τροφοδοσία μπορεί να γίνει είτε στο μέσο της μίας από τις δύο αυτές πλευρές, είτε στο μέσο της μίας από τις άλλες δύο, που είναι κάθετες προς το επίπεδο της γης. Έτσι, καθορίζεται και η πόλωση που θα έχουμε στην κεραία, οριζόντια ή κάθετη αντίστοιχα [27], σελ.1-3. Σπανιότερα μπορεί να εμφανιστεί και 45° διαγώνια πόλωση, δηλαδή με τροφοδοσία σε μία από τις γωνίες του στοιχείου, έτσι ώστε να είναι συμβατή ταυτόχρονα με τα FM (κάθετη πόλωση) και τα SSB/CW (οριζόντια πόλωση).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μια συστοιχία Quad με δύο στοιχεία (βασική κατασκευή) παρουσιάζει κέρδος αυξημένο κατά 3dB από αυτό μιας απλής κεραίας Quad (3-4dB, περίπου 1-2dB πάνω από ένα δίπολο λ/2). Κέρδος με υψηλότερες τιμές επιτυγχάνεται και με μεταβολή της περιμέτρου των στοιχείων. Για την σύνθετη αντίσταση εισόδου, η συστοιχία Quad δύο στοιχείων παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή της Quad, δηλαδή το πραγματικό μέρος της είναι της τάξης μεγέθους των 100Ω, ενώ το φανταστικό της μέρος είναι περίπου -100Ω. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να μηδενιστεί (επίτευξη συντονισμού) αν μεγάλωνε η περίμετρος της απλής Quad, που αποτελεί και τη βάση για τη δημιουργία της συστοιχίας, στο 1.09λ, οπότε για την κεντρική συχνότητα λειτουργίας της κεραίας θα είχαμε και χαμηλό λόγο στάσιμων κυμάτων (SWR).

Στις συστοιχίες, ειδικότερα, για να πετύχουμε χαμηλή αντίσταση εισόδου και χαμηλό SWR θα πρέπει είτε να τις τροφοδοτήσουμε με μια γραμμή μεταφοράς λ/4, εξασφαλίζοντας προσαρμογή, είτε να μεταβάλλουμε την περίμετρο των στοιχείων τους ως εξής: το παρασιτικό στοιχείο να είναι συντονισμένο σε μικρότερη συχνότητα (μεγαλύτερη περίμετρος στοιχείου) σε σχέση με το τροφοδοτούμενο στοιχείο, αν χρησιμοποιείται ως ανακλαστήρας , ενώ αν χρησιμοποιείται ως κατευθυντήρας θα πρέπει να είναι συντονισμένο σε μεγαλύτερη συχνότητα (μικρότερη περίμετρος στοιχείου). Αυτή η μεταβολή

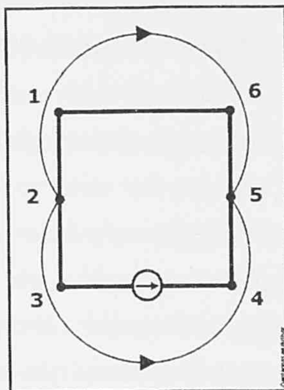
της παραμέτρου μπορεί να γίνει εύκολα με ένα stub στο στοιχείο. Το πόσο ακριβώς πρέπει να μεταβληθεί η περίμετρος εξαρτάται από τη συχνότητα λειτουργίας, αλλά κυρίως από τον λόγο της περιμέτρου του στοιχείου προς τη διάμετρο του αγωγού. Άλλος τρόπος μείωσης του SWR είναι η μεταβολή της απόστασης των στοιχείων μεταξύ τους. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση τόσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος σε dB και ταυτόχρονα και ο λόγος SWR. Κατάλληλη απόσταση για την οποία έχουμε μικρό κέρδος και μεγάλο (SWR) είναι της τάξης των 0.14λ με 0.25λ. Όσον αφορά το διάγραμμα ακτινοβολίας, αυτό παρουσιάζει μέγιστο στην κατεύθυνση της μεσοκαθέτου του επιπέδου της συστοιχίας [27], σελ.1-6.

Επιπλέον, η συστοιχία Quad είναι μια κεραία χαμηλού Q, που σημαίνει ότι η απόσταση μεταξύ των στοιχείων της κεραίας δεν είναι τόσο κρίσιμη όπως στις συστοιχίες Yagi-Uda, που είναι υψηλού Q και ευρυζωνική, δηλαδή τα χαρακτηριστικά της δε μεταβάλλονται πολύ με τη συχνότητα για ένα μεγάλο φάσμα. Οι βραχίονες στηρίξεώς της μπορούν με κάποιες ρυθμίσεις να δεχτούν και άλλα στοιχεία ομοκεντρικά, για λειτουργία σε περισσότερες από μία συχνότητες (με κατάλληλη εναλλαγή τροφοδοσίας). Ωστόσο η κατασκευή της είναι μια επίπονη διαδικασία σε σχέση με άλλες κεραίες (συντονισμός και ρύθμιση απόστασης στοιχείων). Αν δε δοθεί αρκετή προσοχή στα υλικά κατασκευή της, έχει μεγάλες πιθανότητες να καταστραφεί σε έντονες καιρικές συνθήκες.

Η συστοιχία Quad μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων (HF, VHF και UHF) με μεγάλη επιτυχία, κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας, εξασφαλίζοντας μια επικοινωνία από σημείο προς σημείο, λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων που παρουσιάζει. Με βάση τη διατύπωση αυτή και τα στοιχεία που παρατίθενται από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διαφόρων μοντέλων αυτών των διατάξεων, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους, όπως το διάγραμμα ακτινοβολίας, την αντίσταση εισόδου, τον λόγο στάσιμου κύματος και την κατευθυντικότητα, έτσι ώστε αυτά να επαληθεύουν τα αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και να καθιστούν προβλέψιμη τη συμπεριφορά της συστοιχίας Quad για ενδεχόμενη πρακτική χρήση [27].

Πρώτο στάδιο της μελέτης ήταν η θεωρητική ανάλυση της συστοιχίας Quad (απλή κεραία Quad), η οποία αποτελείται από ένα στοιχείο τετραγωνικού βρόχου με περίμετρο ενός μήκους κύματος (Σχήμα 2.25). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη γιατί είναι η απλούστερη κεραία αυτής της ομάδας, απαιτεί μικρό σχετικά αριθμό πράξεων και αποτελεί τη βάση για τη δημιουργία και τη μελέτη της αντίστοιχης συστοιχίας. Αρχικά η όλη διάταξη αντιμετωπίστηκε με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων [27], σελ.2-2,3. Σύμφωνα με αυτή, για κάθε δίπολο λ/2 έχουμε και ένα στάσιμο κύμα. Τα βέλη δηλώνουν τη φορά του ρεύματος. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η θεωρία των κεραιών για την εξαγωγή του τύπου του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα τρία κύρια επίπεδα και τον χώρο. Κατόπιν, συντάχθηκαν δύο προγράμματα σε γλώσσα fortran τα οποία πραγματοποιούν, αντίστοιχα, αποτίμηση των εκφράσεων του διαγράμματος ακτινοβολίας, ανα

1 μοίρα για τον χώρο και ανά 1 μοίρα για τα 3 κύρια επίπεδα. Στην περίπτωση των 3 κύριων επιπέδων, ακολουθεί και κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή του διαγράμματος στα επίπεδα αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτελούν είσοδο στο πρόγραμμα RADPAT, το οποίο παράγει τελικά τα ζητούμενα διαγράμματα ακτινοβολίας. Η όλη διάταξη θεωρείται στον ελεύθερο χώρο αγνοώντας το σύνολο των λοιπών φυσικών αντικειμένων.



Σχήμα 2.25 : Η απλή κεραία Quad σύμφωνα με τη θεωρία των στάσιμων κυμάτων (θεωρητικό μοντέλο).

Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη της συστοιχίας Quad και κυρίως για επαλήθευση των χαρακτηριστικών που προτείνονται από τους πρακτικούς κατασκευαστές, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση (υπολογιστική μελέτη) μερικών μοντέλων αυτής της ομάδας, με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων. Το κυριότερο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος λεπτού σύρματος που ονομάζεται Richwire. Με βάση το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της κεραίας είναι ικανοποιητικές.

Η συχνότητα κατασκευής των μοντέλων της συστοιχίας Quad που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι f=1111MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=0.27m. Η τιμή αυτή επιλέγεται επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχοικό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μετρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητας ($\alpha < 0.01\lambda$). Επιπλέον, το ελάχιστο μήκος κάθε τμήματος, από τα οποία αποτελείται το μοντέλο, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο της ακτίνας του σύρματος ($d_{min} > 2\alpha$).

Για τη συστοιχία Quad, οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της είναι:

i. Ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για το θεωρητικό μοντέλο της συστοιχίας Quad που αναλύθηκε παραπάνω. Το χώρισμα σε κεραίας σε τμήματα γίνεται με τη βοήθεια ενός προγράμματος σε γλώσσα fortran (QUAD), το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργήσει το

κατάλληλο αρχείο εισόδου για την εισαγωγή του στο Richwire. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση των διαγραμάτων της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων στο μιγαδικό επίπεδο [[27], σελ.3-3, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός.

ii. Η απόσταση L μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου. Η παράμετρος αυτή λαμβάνει χώρα για συστοιχίες Quad δύο ή και περισσότερων στοιχείων. Διατηρώντας το μήκος κάθε τετραγώνου σταθερό και ίσο με ένα μήκος κύματος, διερευνάται η συμπεριφορά της συστοιχίας Quad για ένα εύρος από 0.02λ έως 0.5λ(από 5.4mm έως 135mm), με βήμα 0.02λ.

iii. Η συχνότητα στην οποία υπολογίζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του θεωρητικού μοντέλου της συστοιχίας Quad και του υπολογιστικού με τη βέλτιστη συμπεριφορά, που έχει επιλεγεί μετά από σάρωση της απόστασης L μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου(περίπτωση ii). Διατηρώντας το μήκος αυτών σταθερό, υπολογισμένο για τη συχνότητα λειτουργίας (f=1111MHz), διερευνάται η συμπεριφορά της συστοιχίας Quad για ένα εύρος συχνοτήτων 900-1300MHz ανά 10MHz, με κεντρική τη συχνότητα f=1111MHz.

Με το Richwire και με μια σειρά συρμάτινων μοντέλων μεταβάλλαμε για την κάθε περίπτωση τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων. Από την όλη διερεύνηση(θεωρητική και υπολογιστική) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Ο παρακάτω πίνακας αναγράφει τις βέλτιστες επιλογές λειτουργίας των διαφόρων μορφών της συστοιχίας Quad που αναλύθηκαν(απλή κεραία Quad και συστοιχία Quad 2 στοιχείων):

	$Z_{INP}(\Omega)$	SWR(50Ω)	SWR(75Ω)	D(dBd)
Βιβλιογραφία	$\simeq$100-j100	>2	>2	1-2
Quad	92-j134	6.17	4.45	0.92
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.02λ	2-j31	42.20	53.60	4.84
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.04λ	6-j57	19.37	19.88	4.78
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.24λ	70-j93	4.34	3.34	3.47
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.30λ	91-j97	4.21	3.10	3.76
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.36λ	107-j109	4.61	3.31	3.57
Το μοντέλο Quad Array 2 στοιχείων με L=0.50λ	108-j141	6.14	4.36	1.75

.

β. Τα αποτελέσματα της κεραίας Quad ως προς το SWR και την κατευθυντικότητα επαληθεύουν τα αντίστοιχα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

γ. Το διάγραμμα ακτινοβολίας που προέκυψε από τη θεωρητική μελέτη [[27], σελ.2-17 προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια αυτό που προκύπτει από το Richwire [27], σελ.3-22,26.

δ. Είναι επιθυμητό η Quad να υλοποιείται με περίμετρο βρόχου μεγαλύτερη του ενός μήκους κύματος, καθώς με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο λόγος SWR στην κεντρική συχνότητα λειτουργίας, ενώ μεγαλώνει και η τιμή της κατευθυντικότητας [27], σελ.3-8,9.

ε. Η Quad παρουσιάζει χαρακτηριστικά ευρυζωνικής κεραίας. Ακόμη και χωρίς προσαρμογή, ο λόγος SWR για τα 75Ω είναι κάτω του 2 για περίπου 70MHz, δηλαδή έχουμε εύρος ζώνης περίπου 6.3% [27], σελ.3-8. Επίσης, το διάγραμμα ακτινοβολίας της μεταβάλλεται ελάχιστα στη σάρωση συχνοτήτων που πραγματοποιήθηκε [27], σελ.3-10,22.

στ. Μετά την προσθήκη του δεύτερου βρόχου, η κατευθυντικότητα εμφανίζεται βελτιωμένη για όλες τις τιμές της απόστασης μεταξύ των βρόχων L. Ο λόγος SWR μειώνεται για τιμές του L μεταξύ 0.18λ και 0.48λ, στην περίπτωση των 50Ω και

75Ω αντίστοιχα, και για τιμές του L μεταξύ 0.28λ και 0.50λ, στα 300Ω [27], σελ.4-3.

ζ. Προτεινόμενο μοντέλο για κατασκευή είναι αυτό με L=0.30λ ,[27], σελ.4-32,35 καθώς στην περίπτωση αυτή ελαχιστοποιείται το SWR, είτε για τα 75Ω είτε για τα 50Ω, η κατευθυντικότητα παρουσιάζει τοπικό μέγιστο και ο λόγος Front-to-Back έχει μία από τις χαμηλότερες τιμές του(αντίστροφα μεγαλύτερη).

Γενικά η απλή κεραία Quad και η συστοιχία Quad που αναλύθηκαν, είναι κατευθυντικές, ευρυζωνικές με υψηλή κατευθυντικότητα, χαμηλο SWR (για βέλτιστη απόσταση μεταξύ στοιχείων και βέλτιστο μήκος περιμέτρου αυτών) και γραμμική πόλωση. Οι ιδιότητες αυτές την καθιστούν προτιμητέα σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων (HF, VHF και UHF) κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας για περιπτώσεις , που επιθυμούμε εκπομπή ή λήψη σήματος από σημείο προς σημείο.

Κεφάλαιο 3 : Βελτιώσεις και επεκτάσεις τεχνικών ανάλυσης κεραιών.

3.1 : Μετασχηματιστής μετατροπής τύπου BAZOOKA (Sleeve Balun).

Ο μετασχηματιστής μετατροπής τύπου BAZOOKA είναι ένα μέσο εξάλειψης της ανεπιθύμητης συμπεριφοράς που εμφανίζεται από την απευθείας τροφοδοσία συμμετρικού διπόλου λ/2 με ομοαξονική γραμμή. Οι κυριότερες ανωμαλίες στη συμπεριφορά του συστήματος γραμμής-διπόλου είναι τα ρεύματα στο εξωτερικό του περιβάλλοντος αγωγού της ομοαξονικής γραμμής και η διαταραχή του πεδίου ,[28].

Ο όρος μετασχηματιστής καλύπτει ένα μέρος της λειτουργίας του BALUN. Το BALUN μπορεί να παίξει τον ρόλο του μετασχηματιστή για την επίτευξη προσαρμογής, όπως ακριβώς το κομμάτι μιας βραχυκυκλωμένης γραμμής λ/4 (Σχήμα 3.1(β')). Δεν είναι όμως αυτός ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιείται. Η κύρια λειτουργία του είναι η μετατροπή της μη συμμετρίας σ' ένα δίκτυο σε συμμετρία ή με άλλα λόγια η σύζευξη μη συμμετρικών και συμμετρικών δικτύων. Ειδικότερα, για την περίπτωση του συστήματος γραμμής-διπόλου που θέλαμε να μελετήσουμε, η μετατροπή πραγματοποιήθηκε με την επίτευξη υψηλής σύνθετης αντίστασης του εξωτερικού αγωγού της ομοαξονικής γραμμής ως προς το έδαφος. Έτσι και ο αγωγός αυτός, μαζί με τον εσωτερικό, απομονώθηκαν από το έδαφος και η γραμμή έγινε συμμετρική (Σχήμα 3.1(γ')).

Οι μετατροπείς BALUN διακρίνονται σε: ευρείας ζώνης (Broadband Baluns) και στενής ζώνης (Narrowband Baluns). Αναφορικά με τη λειτουργία τους ως μετασχηματιστές καθορίζονται από τον λόγο μετασχηματισμού. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα BALUN 1:1 ευρείας ζώνης τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν αν τυλίξουμε την ομοαξονική γραμμή σε μορφή πηνίου. Αν στο εσωτερικό του πηνίου τοποθετήσουμε και φερρίτη το εύρος ζώνης συχνοτήτων πολλαπλασιάζεται, [28], σελ.32. Η θεωρητική ανάλυση και ο σχεδιασμός ενός τέτοιου BALUN είναι αρκετά δύσκολος, αρκεί να σκεφτούμε ότι το πηνίο που θα κατασκευαστεί θα πρέπει να παρουσιάζει υψηλή σύνθετη αντίσταση για

ένα εκτεταμένο εύρος συχνοτήτων. Ωστόσο, μελετήθηκε η λειτουργία ενός μετατροπέα BALUN εξετάζοντας τις ρευματικές κατανομές πάνω σε μια ομοαξονική γραμμή (Σχήμα 3.1(α')).

Τα αποφασιστικά κριτήρια επιτυχίας της χρησιμοποίησης BAZOOKA ως μετασχηματιστή μετατροπής, στην περίπτωση τροφοδοσίας διπόλου λ/2 από ομοαξονική γραμμή, που υιοθετήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

i. Ρεύματα:
   α. Τα ρεύματα στα συμμετρικά σημεία των δύο στελεχών του διπόλου πρέπει να είναι σχεδόν ίσα.
   β. Τα ρεύματα στο BAZOOKA πρέπει να είναι σχεδόν μηδενικά.

ii. Η αντίσταση εισόδου παράλληλης γραμμής λ/2 με τερματικό φορτίο δίπολο λ/2 πρέπει να είναι σχεδόν ίση με την αντίσταση εισόδου ομοαξονικής γραμμής λ/2 και BAZOOKA και τ ερματικό φορτίο το ίδιο δίπολο, εφόσον η χαρακτηριστική αντίσταση των δύο γραμμών είναι ίδια.

iii. Ο συντελεστής ανάκλασης ισχύος του διπόλου λ/2 συναρτήσει της συχνότητας πρέπει να είναι σχεδόν ο ίδιος με τον συντελεστή ανάκλασης ισχύος του συστήματος ομοαξονικής γραμμής λ/2-BAZOOKA με δίπολο λ/2, ή με άλλα λόγια η παρουσία του συστήματος πρέπει να είναι αμελητέα.

iv. Το πεδίο ευθύγραμμου συμμετρικού διπόλου λ/2 πρέπει να έχει σχεδόν μόνο θ συνιστώσα και στην περίπτωση χρησιμοποίησης του συστήματος ομοαξονικής γραμμής λ/2-BAZOOKA.

Για την εφαρμογή των παραπάνω κριτηρίων και την κατανόηση της λειτουργίας και της χρησιμότητας του BALUN παρατέθηκαν αρχικά κάποια στοιχεία θεωρίας, για τη γραμμή μεταφοράς και ειδικά για τη βραχυκυκλωμένη γραμμή λ/4, το επιδερμικό φαινόμενο και την έννοια της ασυμμετρίας στις γραμμές μεταφοράς και τις κεραίες. Επίσης, πραγματοποιήθηκε και θεωρητική ανάλυση ενός διπόλου στάσιμου κύματος από άποψη ακτινοβολίας και αντίστασης εισόδου.

Με βάση τη θεωρία που παρατέθηκε, ακολούθησε το στάδιο της Προσομοίωσης κάποιων συρμάτινων μοντέλων. Η υπολογιστική μελέτη πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα λεπτού σύρματος, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών και η επιλογή του αριθμού των τμημάτων για το κάθε μοντέλο, με σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου αριθμού για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, με το πρόγραμμα CONVER, το οποίο συντάχθηκε σε fortran και basic. Το μήκος των τμημάτων έπρεπε να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης των μοντέλων σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Ο αριθμός των τμημάτων αυξανόταν μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση των διαγραμάτων της αντίστασης εισόδου συναρτήσει των τμημάτων για το κάθε μοντέλο, επιλέχθηκε ο κατάλληλος αριθμός. Ενδεικτικά η διαδικασία αυτή πραγ-

ματοποιήθηκε για τρεις εφαρμογές συρμάτινων μοντέλων, [28], σελ.72-74: το μοντέλο των 4 συρμάτων με 44 τμήματα και 25 σημεία, το μοντέλο των 6 συρμάτων με 64 τμήματα και 35 σημεία και το μοντέλο των 8 συρμάτων με 84 τμήματα και 45 σημεία. Η εκτενέστερη μελέτη έγινε για το μοντέλο των 6 συρμάτων. Η συχνότητα λειτουργίας του ήταν 1125MHz και βάσει αυτής πραγματοποιήθηκε μεταβολή του λόγου της εξωτερικής διαμέτρου D_0 προς την εσωτερική διάμετρο D_i του BALUN, της απόστασης του διπόλου από την ομοαξονική γραμμή και τον μετατροπέα και του μήκους του διπόλου.

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια που παρατέθηκαν παραπάνω, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

i. Ρεύματα:
   α. Το πρώτο κριτήριο ικανοποιείται για το μοντέλο των 6 συρμάτων που μελετήθηκε με κριτήριο μήκους 0.1λ ή λ/10, [28], σελ.103.
   β. Παίρνουμε ένα τμήμα του συρμάτινου μοντέλου που ανήκει στο BAZOOKA και υπολογίζουμε τη ρευματική κατανομή, [28], σελ.104. Πράγματι τα ρεύματα στο BAZOOKA είναι σχεδόν μηδενικά σύμφωνα με το αντίστοιχο κριτήριο.

ii. Η αντίσταση εισόδου ομοαξονικής γραμμής λ/2 και BAZOOKA με τερματικό φορτίο δίπολο λ/2 τείνει να πλησιάσει τη θεωρητική ,[28], σελ.105. Το πραγματικό της μέρος ταυτίζεται με το θεωρητικό σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων (1050-1150MHz) γύρω από την κεντρική συχνότητα των 1121MHz. Αντίθετα η αντίσταση εισόδου παράλληλης γραμμής λ/2 και τερματικό φορτίο το ίδιο δίπολο παρουσιάζει εμφανείς ανωμαλίες συναρτήσει της συχνότητας. Η ανεπιθύμητη συμπεριφορά οφείλεται στην ασυμμετρία της ομοαξονικής γραμμής η οποία δημιουργεί και προβλήματα προσαρμογής, αφού η απόκλιση της αντίστασης εισόδου από τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής (75Ω) είναι πολύ μεγάλη γεγνός που θα δώσει έναν μεγάλο λόγο στάσιμων κυμάτων (SWR). Ωστόσο, χρησιμοποιώντας ένα συντονισμένο δίπολο ως φορτίο στο σύστημα η απόκλιση της αντίστασης εισόδου του συστήματος ομοαξονικής BAZOOKA με το δίπολο λ/2 από την αντίστοιχη θεωρητική μειώνεται σημαντικά ειδικά όσον αφορά το φανταστικό μέρος, [28], σελ.89.

iii. Ο συντελεστής ανάκλασης ισχύος του διπόλου λ/2 συναρτήσει της συχνότητας είναι σχεδόν ο ίδιος με τον συντελεστή ανάκλασης ισχύος του συστήματος ομοαξονικής γραμμής λ/2-BAZOOKA με δίπολο λ/2 σε συνάρτηση με τη συχνότητα για τα διάφορα μήκη διπόλων που εξετάστηκαν, [28], σελ.94-97.

iv. Η φ συνιστώσα του πεδίου του συστήματος ομοαξονικής γραμμής λ/2-BAZOOKA παρουσιάζει μεγαλύτερη μείωση από την αντίστοιχη του συστήματος ομοαξονικής γραμμής με δίπολο λ/2, [28], σελ.78, 81, 86.

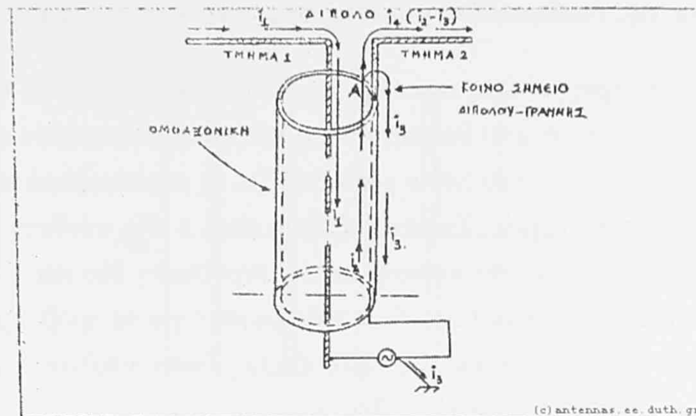
Αξίζει να σημειωθεί ότι αναφορικά με το κριτήριο ισότητας της αντίστασης εισόδου παράλληλης γραμμής λ/2 με τερματικό φορτίο δίπολο λ/2 με αυτήν του συστήματος

ομοαξονικής γραμμής με BAZOOKA και τερματικό φορτίο το ίδιο δίπολο, το θέμα εύρους ζώνης λειτουργίας του BAZOOKA είναι λιγότερο αυστηρό αφού παρατηρούμε σημαντικές αποκλίσεις των παραπάνω αντιστάσεων εισόδου κάτω από τα 800MHz, [28], σελ.99. Το κριτήριο εκεινό που είναι το πιο περιοριστικό αφορά το πεδίο του συστήματος ομοαξονικής γραμμής με BAZOOKA με το δίπολο λ/2.

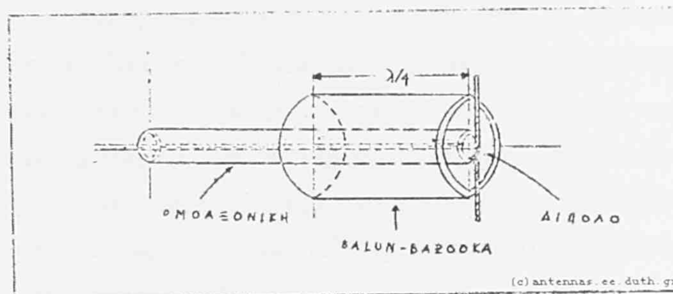
Σύμφωνα με τον βαθμό ικανοποίησης των παραπάνω κριτηρίων από τις διάφορες παραλλαγές του BAZOOKA προτείνουμε το εξής μοντέλο:

- Ακτίνα σύρματος αγωγού: α=1.34mm.
- Αγωγοί από χαλκό, ειδικής αγωγιμότητας: 5.7×10^7mhos/m.
- Ομοαξονική γραμμή χαρακτηριστικής αντίστασης 75Ω.
- Μετασχηματιστής μετατροπής τύπου BAZOOKA λόγου διαμέτρων: D_0/D_i=2.4.
- Φορτίο: Συντονισμένο δίπολο λ/2, απόστασης από BAZOOKA 4α.
- Μήκος BAZOOKA: λ/4.

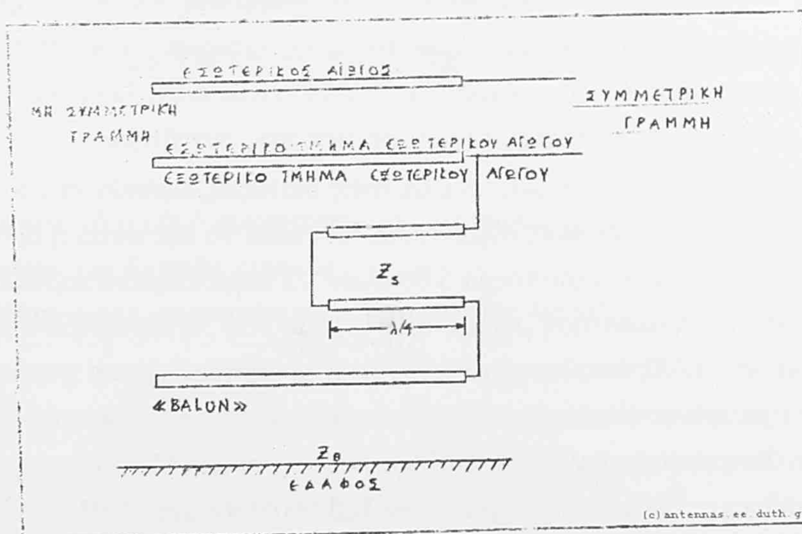
Χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο μπορούμε να πούμε ότι πραγματοποιείται εξάλειψη της ανεπιθύμητης συμπεριφοράς που εμφανίζεται από την απευθείας τροφοδοσία συμμετρικού διπόλου λ/2 με ομοαξονική γραμμή, όπως είναι τα ρεύματα στο εξωτερικό του περιβάλλοντος αγωγού της ομοαξονικής γραμμής και η διαταραχή του πεδίου.



(α') Παράσταση διαφόρων ρευματικών κατανομών γραμμής-διπόλου.



(β') Μετατροπέας BALUN-BAZOOKA.



(γ') Λειτουργία BALUN-BAZOOKA.

Σχήμα 3.1 : Σύστημα ομοαξονικής γραμμής με BAZOOKA και τερματικό φορτίο δίπολο λ/2.

3.2 : Βελτίωση της διαδικασίας μελέτης συμμετρικών κεραιών.

Γενικά οι περισσότερες μελέτες κεραιών ασχολούνται κατά βάση με το πεδίο ακτινοβολίας τους. Παρόλα αυτά άμεσο θεωρητικό και πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και ένα άλλο μέγεθος των κεραιών το οποίο χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά τους ως στοιχεία κυκλώματος υψηλής συχνότητας. Το μέγεθος αυτό είναι η ιδία σύνθετη αντίσταση μιας κεραίας ή η αμοιβαία σύνθετη αντίσταση για την περίπτωση δύο κεραιών. Η σημασία των παραπάνω σύνθετων αντιστάσεων είναι πολύ μεγάλη για το πρόβλημα τροφοδοσίας κεραίας ή στοιχείων στοιχειοκεραίας. Εξίσου σοβαρός είναι ο υπολογισμός της σύνθετης αντίστασης όταν η κεραία λειτουργεί ως δέκτης.

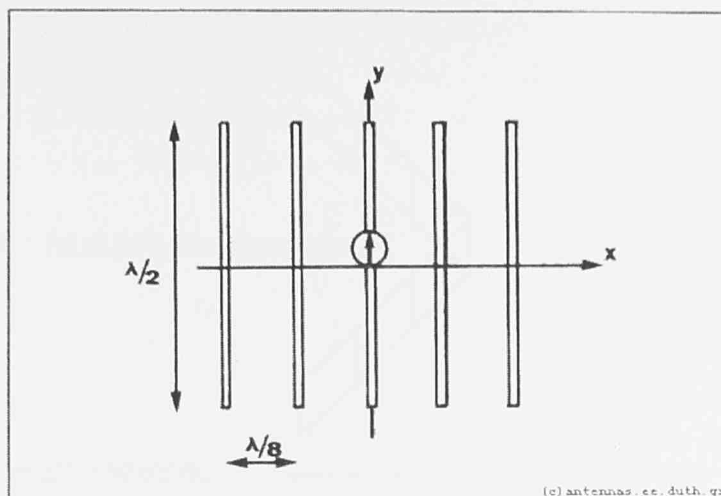
Παρόλα αυτά, ο θεωρητικός υπολογισμός της αμοιβαίας σύνθετης αντίστασης μεταξύ κεραιών είναι πολύπλοκος και προκύπτει από τη λύση διπλών ολοκληρωμάτων. Για τον λόγο αυτόν, είναι προτιμότερη η χρήση κατάλληλων προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να υπολογίσουμε τη σύνθετη αντίσταση, [29].

Αρχικά, πριν συνταχθεί το πρόγραμμα που βελτιώνει τη διαδικασία υπολογισμού των κεραιών και πιο συγκεκριμένα την ιδία και αμοιβαία αντίσταση, δόθηκε η θεωρητική διατύπωση της διαδικασίας αυτής. Η συγκεκριμένη θεωρία βασίζεται στον υπολογισμό αμοιβαίων αντιστάσεων μεταξύ μονοπόλων ή πιο σωστά μεταξύ τμημάτων. Μελετώντας τη γεωμετρική διάταξη των τμημάτων προτάθηκαν λύσεις μείωσης του χρόνου εκτέλεσης της διαδικασίας υπολογισμού της αμοιβαίας σύνθετης αντίστασης.

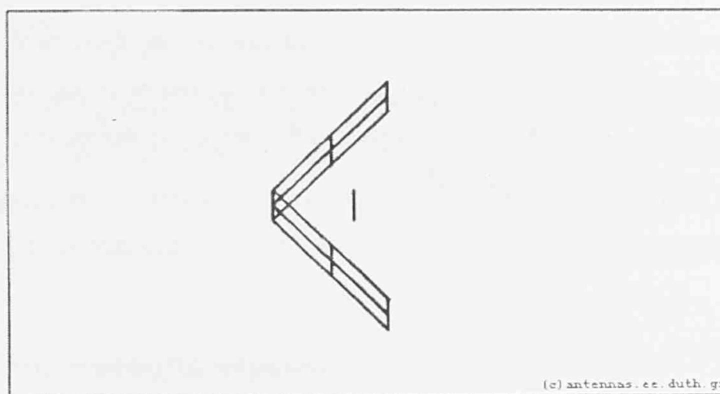
Με βάση το παραπάνω θεωρητικό υπόβαθρο συντάχθηκε το πρόγραμμα ZCALC σε γλώσσα Fortran Visual Workbench (version 1.00), το οποίο βασίζεται στην υπορουτίνα υπολογισμού του πίνακα των αντιστάσεων του προγράμματος Richwire. Πρόκειται για ένα λειτουργικό και πιο γρήγορο πρόγραμμα το οποίο βελτιώνει τον χρόνο που βγαίνουν οι τιμές του πίνακα αυτού. Το πρόγραμμα ZCALC είναι κατάλληλο για χρήση, στις περιπτώσεις μελέτης μιας διάταξης κεραιών σε διάφορες συχνότητες.

Το πρόγραμμα ZCALC εφαρμόστηκε σε τρεις διατάξεις κεραιών οι οποίες εμφανίζουν έντονα στοιχεία γεωμετρικής συμμετρίας, με σκοπό να εξεταστεί η ορθότητά του. Η πρώτη περίπτωση ήταν μια συστοιχία 5 διπόλων λ/2 τοποθετημένα παράλληλα το ένα στο άλλο και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (Σχήμα 3.2) , η δεύτερη ένα ορθογωνικό πλέγμα με ένα δίπολο λ/2 τοποθετημένο μέσα σε αυτό (Σχήμα 3.3) και η τρίτη μία ορθογωνική σχάρα με επίσης ένα δίπολο λ/2 τοποθετημένο στο εσωτερικό της (Σχήμα 3.4). Η συχνότητα λειτουργίας των τριών διατάξεων ήταν τα 300MHz και η μελέτη τους πραγματοποιήθηκε για ένα εύρος συχνοτήτων 100-900MHz ανά 10MHz.

Συγκρίνοντας και για τις τρεις περιπτώσεις κεραιών τους χρόνους εκτέλεσης του ZCALC και του Richwire, [29], σελ.4-4, 4-8 και μελετώντας τα διαγράμματα της αντίστασης εισόδου συναρτήσει της συχνότητας, εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι ο βέλτιστος χρόνος t_0 των συνολικών υπολογισμών του προγράμματος ZCALC εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:



Σχήμα 3.2 : Η διάταξη 5 διπόλων στο xy επίπεδο.

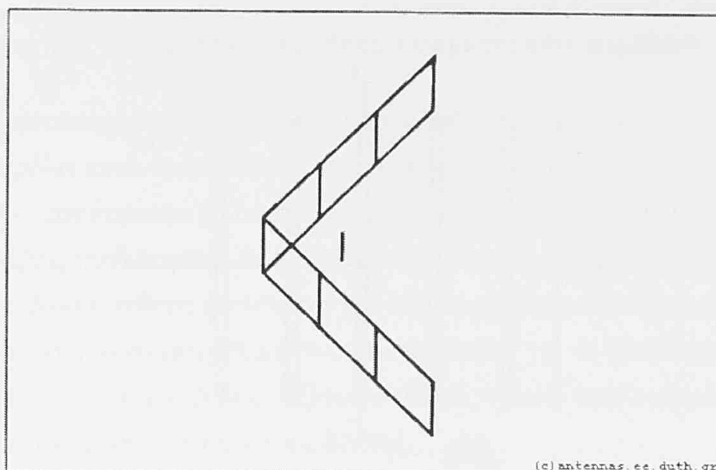


Σχήμα 3.3 : Η διάταξη του λεπτού πλέγματος με το δίπολο στο εσωτερικό του στον χώρο.

- τον συνολικό αριθμό συχνοτήτων, για τις οποίες ζητήθηκε από το πρόγραμμα να μελετήσει μια διάταξη κεραιών
- τις γεωμετρικές συμμετρίες που παρουσιάζε η διάταξη.

Στις περιπτώσεις που ο αριθμός των συχνοτήτων ήταν μικρός ή οι γεωμετρίες της διάταξης λίγες ή συνέβεναν και τα δύο, τότε ο βέλτιστος χρόνος t_0 εξαρτόταν και από δευτερεύοντες παράγοντες, οι οποίοι γενικά δεν παίζουν σημαντικό ρόλο. Αυτοί οι παράγοντες ήταν:

- ο χρόνος οικοδόμησης του βοηθητικού πίνακα $\left[S\dot{P}CL\right]$
- ο χρόνος αποθήκευσης των αμοιβαίων αντιστάσεων που προέκυπταν από τις υπορουτίνες GGS, GGMM, στους πίνακες $\left[P\dot{Q}11\right]$, $\left[P\dot{Q}12\right]$, $\left[P\dot{Q}211\right]$, $\left[P\dot{Q}22\right]$.
- ο χρόνος των εντολών αντικατάστασης για τα στοιχεία του πίνακα $[\dot{z}]$, τα οποία ήταν ίδια με κάποια ήδη υπολογισμένα.



Σχήμα 3.4 : Η διάταξη της μεταλλικής σχάρας με το δίπολο στο εσωτερικό του στον χώρο.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, όσο περισσότερες ήταν οι συχνότητες στις οποίες έπρεπε να μελετηθεί μια διάταξη κεραιών, καθώς και οι γεωμετρικές συμμετρίες που αυτή παρουσίαζε, τόσο πιο αποτελεσματική γινόταν η προτεινόμενη διαδικασία υπολογισμών του προγράμματος ZCALC.

Κεφάλαιο 4 : Μελέτη συστοιχιών.

4.1 : Εισαγωγή.

Στο κεφαλαίο αυτό αναλύονται και παρουσιάζονται οι μεταπτυχιακές διατριβές που εκπονήθηκαν από την Ερευνητική ομάδα κεραιών του Δ.Π.Θ. Οι διατριβές αυτές πραγματεύονται θέματα που σχετίζονται με συστοιχίες κεραιών και μελετούνται θέματα όπως η τροφοδοσία αυτών και διαγράμματα ακτινοβολίας ανασχηματιζόμενα ή μη.

4.2 : Πρότυπες συστοιχίες κεραιών.

Συστοιχίες ονομάζονται διατάξεις επιμέρους κεραιών - στοιχείων με συσχετισμένα γεωμετρικά ή και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Τα επιμέρους στοιχεία μιας συστοιχίας μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής. Αν τα στοιχεία αυτά είναι ευθύγραμμα τότε η συστοιχία που συνθέτουν ονομάζεται Συστοιχία Ευθύγραμμων Κεραιών (Σ.Ε.Κ.). Αν επιπλέον τα στοιχεία της συστοιχίας είναι παράλληλα τότε αναφερόμαστε σε Συστοιχίες Παράλληλων Ευθύγραμμων Κεραιών (Σ.Π.Ε.Κ.). Αν δε τα στοιχεία είναι και ίδιου μήκους τότε ορίζουμε τις Συστοιχίες Ίσων και Παράλληλων Ευθύγραμμων Κεραιών (Σ.Ι.Π.Ε.Κ.). Από την τελευταία κατηγορία ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Ευθύγραμμες Ομοιόμορφες Συστοιχίες (Ε.Ο.Σ.), οι οποίες και μελετήθηκαν εκτενέστερα.

Οι Ευθύγραμμες Ομοιόμορφες Συστοιχίες (Ε.Ο.Σ.) χαρακτηρίζονται από τις επιπλέον συνθήκες:

i. Οι διαδοχικές πηγές βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία.
ii. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών πηγών είναι σταθερή.
iii. Το πλάτος του λόγου των ρευμάτων είναι ίσο με τη μονάδα.
iv. Η διαφορά φάσης των ρευμάτων μεταξύ διαδοχικών πηγών είναι σταθερή.

Ο σχεδιασμός των ΕΟΣ με κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά στο διάγραμμα ακτινοβο-

λίας είναι σχετικά εύκολος και πραγματοποιείται επιλέγοντας τα κατάλληλα πλάτη και φάσεις για τα στοιχεία που τις σχηματίζουν. Ωστόσο, η τροφοδότησή τους δεν είναι το ίδιο εύκολη. Υπάρχουν διάφορα συστήματα τροφοδοσίας των ΕΟΣ, το απλούστερο από τα οποία είναι το σύστημα μιας γραμμής μεταφοράς. Οι ΕΟΣ με τροφοδοσία τη διάταξη μιας γραμμής μεταφοράς ήταν το βασικό αντικείμενο μελέτης. Υπάρχουν και άλλα συστήματα τροφοδοσίας τα οποία αναφέρονται περιληπτικά, όπως τα συστήματα ανοιχτού σύρματος (Openwire line), [30], σελ.1-7,8 και ταινιών, [30], σελ.1-9,13.

Ενδιαφέρον, όπως είπαμε παραπάνω, παρουσίασε η διερεύνηση της δυνατότητας σχεδιασμού, ανάλυσης και κατασκευής Ευθύγραμμων Ομοιόμορφων Συστοιχιών με το απλούστερο δυνατό σύστημα τροφοδοσίας μιας γραμμής μεταφοράς. Πρώτο στάδιο, λοιπόν, ήταν η Ανάλυση της παραπάνω διάταξης τροφοδοσίας για ΕΟΣ 2, 3 και 4 διπόλων και για αποστάσεις λ/2 και 0.375λ μεταξύ τους (Σχήμα 4.1(α')). Η επίλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διθύρων για τις γραμμές μεταφοράς και n-θύρων για το σύστημα n διπόλων, όπως προέκυψε από το σύστημα της μεθόδου των ροπών (Σχήμα 4.1(β')). Η εφαρμογή των σχέσεων της Αναλυτικής επίλυσης οδήγησε σε διαγράμματα του λόγου των ρευμάτων για διάφορες περιπτώσεις, [30], σελ.2-7,9, 2-15,18, 2-27,31. Η διαδικασία αυτή, για λόγους ευκολίας, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός προγράμματος που συντάχθηκε σε Visual fortran.

Μετά τα αναλυτικά αποτελέσματα, αφού έχει επιλεγεί με βάση το Αναλυτικό μοντέλο μια σειρά από συστοιχίες, ακολούθησε το στάδιο της Προσομοίωσης με το πρόγραμμα Richwire, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών. Ενδεικτικά η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για μια ΕΟΣ 3 διπόλων, τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση 0.375λ και τροφοδοτούνται με μια γραμμή μεταφοράς (Σχήμα 4.1(γ')). Με βάση το πρόγραμμα αυτό προσδιορίστηκαν, οι βέλτιστες παράμετροι, για τις οποίες η απόδοση και η συμπεριφορά της είναι ικανοποιητικές. Η κυριότερη παράμετρος είναι ο αριθμός των τμημάτων στον οποίο διαιρείται το μοντέλο. Το μήκος των τμημάτων πρέπει να πληρεί το κριτήριο διαίρεσης της κεραίας σε τμήματα($d_i \leq \lambda/4$), απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των ροπών και πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των διπολικών ρευμάτων. Επίσης, η ελάχιστη τιμή τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της ακτίνας του σύρματος ($d_{min} > 2\alpha$). Ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί φαινομενική σύγκλιση, δηλαδή μέχρι ο ρυθμός αύξησης του αποτελέσματος να αρχίσει να μειώνεται. Με βάση τη μεταβολή της αντίστασης εισόδου και της κατευθυντικότητας συναρτήσει των τμημάτων, [30], σελ.3-3,4, επιλέχθηκε ο κατάλληλος αριθμός (86 τμήματα). Ακολούθησε και επιβεβαιωτική σύγκριση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων Ανάλυσης και Προσομοίωσης.

Μετά την επαλήθευση της ορθότητας του σταδίου Προσομοίωσης, επεκτάθηκε η χρησιμότητά του στη προσομοίωση 11 επιπλέον μοντέλων, τα οποία κατασκευάστηκαν και μετρήθηκαν στον ανηχωικό θάλαμο του εργαστηρίου. Οι κατασκευές αυτές χωρίστηκαν σε τρεις βασικές ομάδες: A, B και C. Την ομάδα A αποτελούν συστοιχίες 2, 3

και 4 διπόλων με κοινή την απόσταση μεταξύ των διπόλων. Για την ακρίβεια μελετήθηκαν τρεις συστοιχίες 2 διπόλων, μία 3 διπόλων και μία 4 διπόλων, για τις οποίες η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών διπόλων ήταν 8.8cm(0.375λ), η γραμμή μεταφοράς στα 200Ω, ενώ η κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας εμφανιζόταν στον άξονα της συστοιχίας. Την ομάδα B αποτελούν δύο συστοιχίες 2 διπόλων με χαρακτηριστικό ότι η κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας είναι σε κατεύθυνση διαφορετική του άξονα. Την ομάδα C αποτελούν τρεις συστοιχίες 2 διπόλων με χρήση τυπωμένων γραμμών μεταφοράς. Οι γραμμές τυπώθηκαν πάνω σε πλακέτα FR-4 και χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών από αυτές: η γραμμή ομοεπίπεδων ταινιών και η γραμμή ζεύγους ταινιών. Τέλος, υπάρχει και η συστοιχία D 3 διπόλων.

Για τις λοιπές συστοιχίες που προσομοιώθηκαν ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια μεθοδολογία. Ακολουθεί ένας πίνακας με τον αριθμό των κομματιών που επιλέχθηκε για κάθε μια συστοιχία. Οι συστοιχίες της ομάδας C δεν προσομοιώθηκαν, καθώς το Richwire δε μπορεί να προσομοιώσει παρά μόνο συρμάτινα μοντέλα χωρίς τη χρήση διηλεκτρικού.

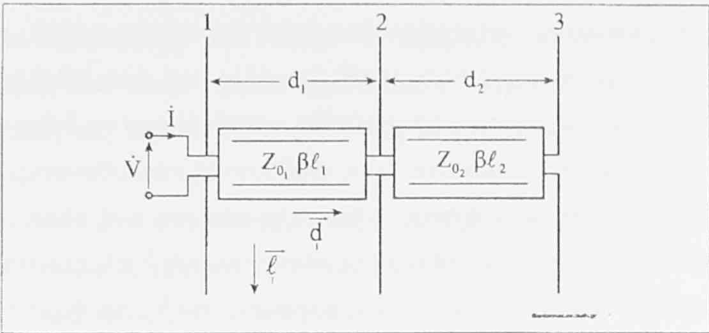
Ομάδα # Συστοιχία	Αριθμός κομματιών
A#1i	50
A#1ii	50
A#1iii	50
A#2	52
A#3	86
B#1	50
B#2	74
D	72

Όλα τα μοντέλα σχεδιάστηκαν, αναλύθηκαν, προσομοιώθηκαν και κατασκευάστηκαν στη συχνότητα των 1111MHz, στην οποία το μήκος κύματος είναι λ=0.27m. Η τιμή αυτή επιλέγεται επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχωικό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μέτρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz. Επίσης, για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος είναι α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ(α<0.01λ).

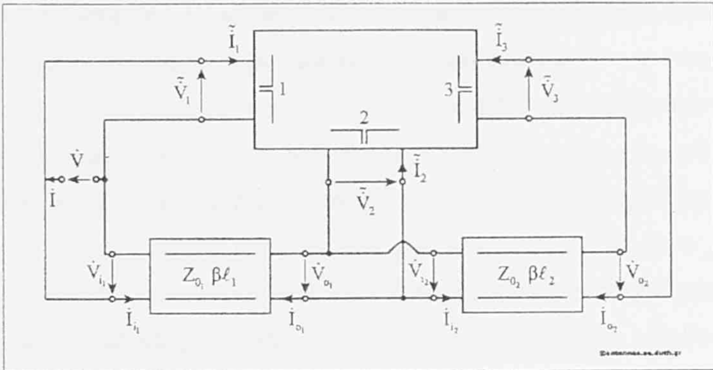
Με βάση τη γραφική μέθοδο σχεδιασμού Ευθύγραμμων Ομοιόμορφων Συστοιχιών, η οποία διδάχτηκε στα μαθήματα των κεραιών, μπορούμε να σχεδιάσουμε μια ομοιόμορφη συστοιχία N στοιχείων με κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά στο διάγραμμα του παράγοντα διάταξης. Συνήθως επιθυμούμε να ορίσουμε μια κατεύθυνση μεγίστου και μια κατεύθυνση μηδενισμού. Με αφορμή αυτό υλοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα Σχεδιασμού, Ανάλυσης, Προσομοίωσης, Κατασκευής και Μέτρησης μιας Ευθύγραμμης Ομοιόμορφης Συστοιχίας και πιο συγκεκριμένα της συστοιχίας D. Η συστοιχία αυτή σχεδιάστηκε ως εξής: θέλαμε ο παράγοντας διάταξής της να έχει μηδενισμό στη γωνία

45° και μέγιστο στη γωνία 135°, οπότε τελικά βρέθηκε ότι αποτελείται από 3 δίπολα λ/2, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 0.5λ και η γραμμή μεταφοράς είναι στα 200Ω. Η συχνότητα κατασκευής και στην περίπτωση αυτή είναι 1111MHz, ενώ η γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτεί τα δίπολα είναι αναδιπλωμένη, [30], σελ.5-7.

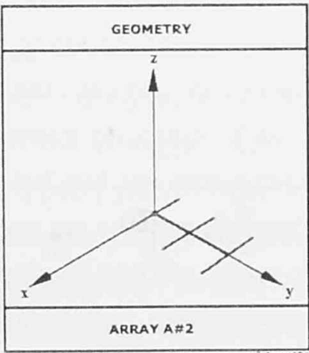
Τα γενικά συμπεράσματα είναι ότι η σύγκλιση των αποτελεσμάτων του αναλυτικού μοντέλου, της προσομοίωσης και των πειραματικών μετρήσεων ήταν από ανεκτή έως πολύ ικανοποιητική. Οι όποιες αποκλίσεις των πειραματικών αποτελεσμάτων οφείλονται κυρίως στις όποιες ασυμμετρίες και ατέλειες των πειραματικών κατασκευών. Το σημαντικότερο συμπέρασμα όμως είναι ότι έγινε εφικτός ο σχεδιασμός, η ανάλυση, η προσομοίωση, η κατασκευή και η μέτρηση μιας ομοιόμορφης συστοιχίας τριών διπόλων με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα να εξάγουμε κάθε φορά τα χαρακτηριστικά που επιθυμούμε ανάλογα με τις εφαρμογές που θα έχουν στις ασύρματες επικοινωνίες.



(α') Αναλυτικό μοντέλο.



(β') Ισοδύναμο κύκλωμα.



(γ') Γεωμετρία.

Σχήμα 4.1 : Ευθύγραμμη Ομοιόμορφη Συστοιχία 3 διπόλων.

4.3 : Συστοιχίες Κεραιών Ανασχηματιζόμενου Διαγράμματος Ακτινοβολίας.

Συστοιχίες Κεραιών Ανασχηματιζόμενου Διαγράμματος Ακτινοβολίας ονομάζονται διατάξεις επιμέρους κεραιών - στοιχείων (ενεργών και παρασιτικών), με την εναλλαγή των οποίων δημιουργούνται διαφορετικά διαγράμματα ακτινοβολίας. Ειδικότερα, πρόκειται για μικτές συστοιχίες, που μπορούν να μεταβάλλουν το διάγραμμα ακτινοβολίας και να στρέφουν το κύριο μέγιστο προς επιθυμητές κατευθύνσεις. Παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρουν διότι επιτυγχάνουν καλύτερη κάλυψη ανά πάσα στιγμή. Μορφές μικτών συστοιχιών με δίπολα μελετήθηκαν σε προηγούμενη διπλωματική εργασία, [15]. Έχοντας λάβει υπόψη τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, το θέμα επεκτάθηκε στη θεώρηση του προβλήματος τροφοδοσίας των διπόλων με γραμμές μεταφοράς, [31].

Αρχικά παρατέθηκαν κάποια στοιχεία θεωρίας, για τη γραμμή μεταφοράς και ειδικά για τη δισύρματη, για το δίπολο στάσιμου κύματος από άποψη ακτινοβολίας και για τις αμοιβαίες αντιστάσεις μεταξύ διπόλων, απαραίτητα για την κατανόηση της αντιμετώπισης του προβλήματος των μικτών συστοιχιών με γραμμές μεταφοράς. Επιπλέον δόθηκε και μια γενική περιγραφή των συστοιχιών.

Με βάση τη θεωρία που παρατέθηκε, ακολούθησε η Ανάλυση των μικτών συστοιχιών πάνω σε γραμμή μεταφοράς και σε τρία βήματα μελέτης, μέσα από τα οποία σταδιακά γίνεται φανερός ο τρόπος αντιμετώπισης του γενικού προβλήματος. Οι μικτές συστοιχίες αποτελούνται τόσο από ενεργά, όσο και από παρασιτικά δίπολα. Τα μεν ενεργά συνδέονται απευθείας πάνω στους αγωγούς της γραμμής, τα δε παρασιτικά δεν έχουν αγώγιμη σύνδεση με τη γραμμή. Τα παρασιτικά δίπολα μπορεί να έχουν τους ακροδέκτες τους είτε ανοιχτοκυκλωμένους είτε βραχυκυκλωμένους, οπότε το κάθε δίπολο της συτοιχίας μπορεί να βρίσκεται σε τρεις καταστάσεις: ενεργό, ανοιχτοκυκλωμένο και βραχυκυκλωμένο, [31], σελ.2-2. Το πρώτο βήμα μελέτης έγινε για μικτή συστοιχία 4 διπόλων με 2 ενεργά, 1 ανοιχτοκυκλωμένο και 1 βραχυκυκλωμένο δίπολο, [31], σελ.2-4, το δεύτερο για συστοιχία 2 διπόλων με 1 ενεργό και 1 ανοιχτοκυκλωμένο (Σχήμα 4.2(α')) και κύριες θύρες, [31], σελ.2-11 και το τρίτο για συστοιχία 5 διπόλων με 2 ενεργά, 1 ανοιχτοκυκλωμένο και 1 βραχυκυκλωμένο και διακλαδώσεις, [31], σελ.2-2. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διθύρων για τις γραμμές μεταφοράς και n-θύρων για το σύστημα n διπόλων, όπως προέκυψε από το σύστημα της μεθόδου των ροπών (Σχήμα 4.2(β')). Τα τρία παραπάνω βήματα μελέτης οδήγησαν σε ένα γενικό τρόπο επίλυσης όλων των περιπτώσεων μικτών συστοιχιών.

Μετά την ανάλυση των μικτών συστοιχιών, ακολούθησε το στάδιο της Προσομοίωσης μικτών συστοιχιών. Για την εφαρμογή της αναλυτικής μελέτης σχεδιάστηκε το πρόγραμμα MDAS, ενώ η υπολογιστική μελέτη πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Richwire, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών. Επιπλέον με το πρόγραμμα MARRAY πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της συστοιχίας. Ενδεικτικά η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για τέσσερις εφαρμογές μικτών συστοιχιών: μια

συστοιχία 2 διπόλων (Σχήμα 4.2(γ')), μια ευθύγραμμη συστοιχία 3 διπόλων, [31], σελ.4-13, μια τριγωνική συστοιχία 3 διπόλων, [31], σελ.4-32 και μια τετραγωνική συστοιχία 4 διπόλων, [31], σελ.4-50. Τα χαρακτηριστικά αυτών ήταν:

- Συχνότητα λειτουργίας: 1111MHz. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε επειδή το πρότυπο απολαβής που είναι τοποθετημένο στον ανηχωικό θάλαμο του εργαστηρίου των κεραιών, ως κεραία λήψης για τις μέτρήσεις, είναι κατασκευασμένο στα 1111MHz.
- Για τη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας η ακτίνα του σύρματος ήταν α=0.001m, η τιμή της οποίας πληρεί το κριτήριο λεπτότητασ($\alpha < 0.01\lambda$).
- Η αγωγιμότητα των συρμάτων θεωρήθηκε άπειρη.
- Στο MDAS, η τάση εισόδου είχε πλάτος 1V και φάση 0°.
- Στο Richwire, η τάση εισόδου είχε Στο RMS τιμή 1V και φάση 0°.
- Όλα τα δίπολα είχαν μήκος λ/2.
- Στο MDAS χρησιμοποιήθηκαν 1000 βήματα για την αριθμητική ολοκλήρωση.
- Στο Richwire χρησιμοποιήθηκε ακριβής ολοκλήρωση.
- Χρησιμοποιήθηκαν γραμμές μεταφοράς με χαρακτηριστικές αντιστάσεις 150, 180, 200 και 300Ω.
- Χρησιμοποιήθηκαν γραμμές μεταφοράς με παράγοντες ταχύτητας 0.66, 0.77 και 1.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των διπόλων προέκυψαν έπειτα από βελτιστοποίηση με το πρόγραμμα MARRAY.

Μετά από τη βελτιστοποίηση των παραπάνω εφαρμογών με το πρόγραμμα MARRAY χρησιμοποιήθηκε πάλι το αυτό πρόγραμμα στη συστοιχία που προέκυψε για να βρεθούν οι κατάλληλοι συνδυασμοί, οι οποίοι προσομοιώθηκαν και σχεδιάστηκαν όλα τα διαγράμματα έντασης ακτινοβολίας.

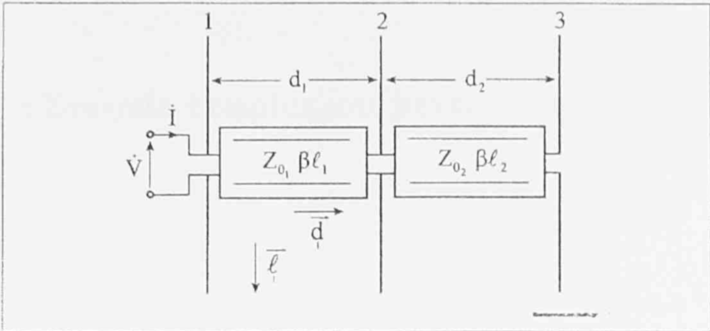
Τα γενικά συμπεράσματα από τη μελέτη των παραπάνω εφαρμογών είναι:

- Η αντιμετώπιση της μικτής συστοιχίας με τον αναλυτικό τρόπο μπορεί τελικά να δώσει λύση στο πρόβλημα του ανασχηματισμού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Αποτελεί μια αρκετά καλή βάση για τον σχεδιασμό της επιθυμητής συστοιχίας.
- Όλες οι εφαρμογές έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Προκύπτει ότι με τη χρήση μεγαλύτερου αριθμού διπόλων αναμένουμε την εύρεση περισσότερων κατάλληλων συνδυασμών και την εξαγωγή περισσοτέρων διαγραμμάτων ακτινοβολίας.
- Υπήρξε αρκετά καλή σύμπτωση μεταξύ των υπολογισμών της αναλυτικής μεθόδου και των υπολογισμών της προσομοίωσης στα διαγράμματα ακτινοβολίας, δηλαδή μεταξύ των αποτελεσμάτων του MDAS και του Richwire.
- Οι τυχόν διαφορές στα διαγράμματα ακτινοβολίας μεταξύ των αποτελεσμάτων του MDAS και του Richwire οφείλονται στις δισύρματες γραμμές, κυρίως στις σπαστές, η παρουσία των οποίων καταργεί τη συμμετρία στην υπάρχουσα συστοιχία,

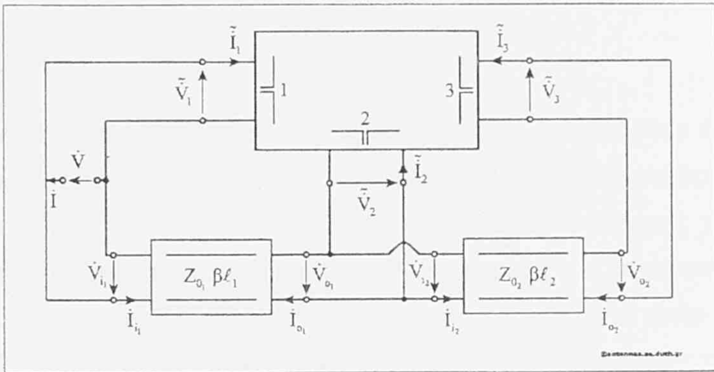
[31], σελ.4-18, 4-36.

- Όλα τα δίπολα είχαν μήκος λ/2.
- Από πλευράς ολοκλήρωσης και κατασκευής, η συστοιχία θα πρέπει να συνδυαστεί με ηλεκτρονικό κύκλωμα που θα περιλαμβάνει μικροελεγκτή και RF διακόπτες, ώστε η εναλλαγή των συνδυασμών στα δίπολα να γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο. Βέβαια η υλοποίηση αυτή είναι μία αρκετά επίπονη υπόθεση και ξεφεύγει αρκετά από τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης.

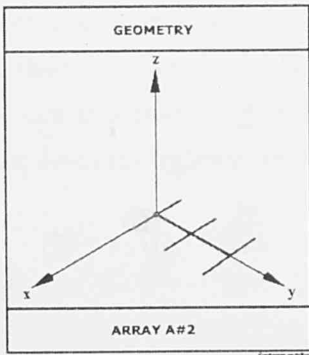
Οι Συστοιχίες Κεραιών Ανασχηματιζόμενου Διαγράμματος Ακτινοβολίας, λοιπόν, μπορούν να θεωρηθούν έξυπνες συστοιχίες, οι οποίες είναι σε θέση να ανασχηματίζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους με στόχο καλύτερη κάλυψη ανά πάσα στιγμή.



(α') Αναλυτικό μοντέλο.



(β') Ισοδύναμο κύκλωμα.



(γ') Γεωμετρία.

Σχήμα 4.2 : Συστοιχία 2 διπόλων πάνω σε γραμμή μεταφοράς.

Κεφάλαιο 5 : Στοιχεία θεωρίας και μοντέλο μη λεπτού διπόλου.

5.1 : Εισαγωγή.

Η μελέτη που έγινε μέχρι τώρα στο εργαστήριο πραγματευόταν θέματα τα οποία αφορούσαν κεραίες λεπτών συρμάτων. Αναλύθηκε και προσομοιώθηκε μια πληθώρα γεωμετριών διαφόρων κεραιών και αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές για την ηλεκτρομαγνητική προσομοίωσή τους. Μελετηκαν τόσο κεραίες με σύρματα ίδιων όσο και διαφορετικών. Έτσι λοιπόν, το επόμενο βήμα μετά από όλα αυτά είναι να αναπτυχθούν και να προσομοιωθούν κάποια μοντέλα κεραιών μη λεπτών συρμάτων χρησιμοποιώντας την ήδη υπάρχουσα γνώση του εργαστηρίου. Το πιο απλό μοντέλο κεραίας που μελετήθηκε είναι αυτό του ενός διπόλου και μια τροποποίηση αυτού που έχει να κάνει με δίπολα τύπου V.

Από το κεφάλαιο αυτό ξεκινάει το ερευνητικό μέρος της διατριβής, το οποίο πραγματεύεται τη μελέτη και προσομοίωση μη λεπτών διπόλων. Αρχικά παρατίθενται κάποια θεωρητικά στοιχεία για τα μη λεπτά δίπολα, στη συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε και τέλος δίνονται σχέσεις υπολογισμού κάποιων μεγεθών.

5.2 : Κριτήριο λεπτότητας.

Ένα δίπολο θεωρείται μη λεπτό όταν καλύπτει το εξής βασικό κριτήριο, [32, 15]:

$$\gamma\alpha \; > \; 0.06 \tag{5.1}$$

όπου:

α η ακτίνα του σύρματος
λ το μήκος κύματος και
γ ο συντελεστής διάδοσης.

Ο συντελεστής διάδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \alpha + j\beta \text{ με} \tag{5.2}$$

$$\alpha = 0 \text{ και } \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{5.3}$$

για τον ελεύθερο χώρο, οπότε το κριτήριο (5.2) έχει ως εξής, [33]:

$$\alpha > \frac{0.06\lambda}{2\pi} = 0.0096\lambda \cong 0.01\lambda \tag{5.4}$$

Εκτός από το παραπάνω κριτήριο, θα πρέπει να επισημάνουμε και κάποιους επιπλέον πρακτικούς περιορισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ).

$$d_{min} > 2\alpha \tag{5.5}$$

$$\gamma d_{max} < 3 \tag{5.6}$$

όπου:

d_{min} το μήκος του μικρότερου τμήματος και

d_{max} το μήκος του μεγαλύτερου τμήματος.

Οι παραπάνω περιορισμοί χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (5.2) και (5.3) γίνονται:

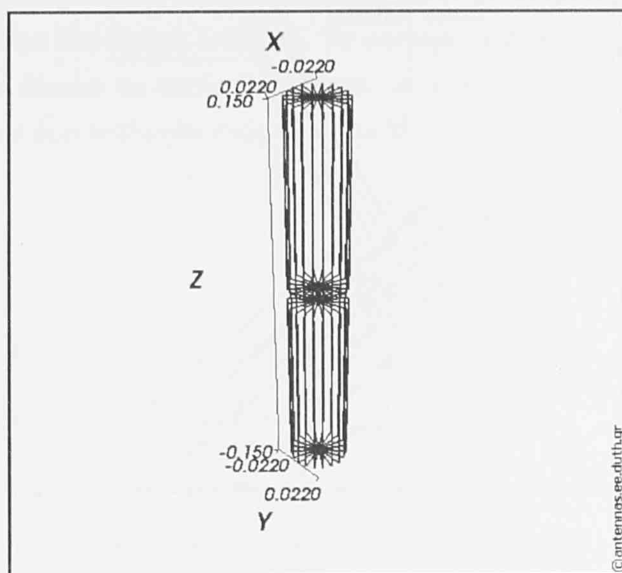
$$d_{min} > 2\alpha \tag{5.7}$$

$$d_{max} < \frac{3\lambda}{2\pi} = 0.4775\lambda \cong 0.50\lambda \tag{5.8}$$

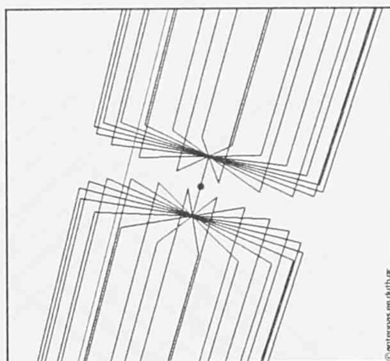
5.3 : Περιγραφή μοντέλου μη λεπτού διπόλου.

Το μοντέλο μη λεπτού διπόλου που χρησιμοποιήσαμε φαίνεται στο Σχήμα 5.1. Κάθε στέλεχός του προσομοιώνεται με πλέγμα λεπτών διπόλων. Η μορφή του πλέγματος είναι ένας κυλινδρικός κλωβός, ο οποίος έχει κάγκελα από λεπτά σύρματα, παράλληλα προς τον άξονα του λεπτού διπόλου, τα οποία κείνται στην θέση της νοητής επιφάνειας του μη-λεπτού διπόλου. Σε κάθε άκρο τους τα κάγκελα κάμπτονται καθέτως και ενώνονται όλα μαζί σχηματίζοντας από έναν ακτινωτό δίσκο, ως βάση του κλωβού. Οι ακτινωτοί αυτοί δίσκοι - βάσεις του κλωβού προσομοιώνουν τα άκρα κάθε μη-λεπτού στελέχους. Οι δύο δίσκοι έχουν κέντρα που κείνται επί του νοητού άξονα του μη-λεπτού στελέχους. Το ύψος των κλωβών θα είναι ίσο προς το ύψος του μη-λεπτού στελέχους. Οι δύο κλωβοί εξομοιώνουν κατά τον τρόπο αυτό τα δύο άνισα στελέχη του μη-λεπτού διπόλου. Η τροφοδοσία γίνεται με μια πηγή τάσεως στο μέσον ενός λεπτού μικρού σύρματος το οποίο συνδέει τα κέντρα των δύο δίσκων που αντιστοιχούν στα άκρα τροφοδοσίας του

μη-λεπτού διπόλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.



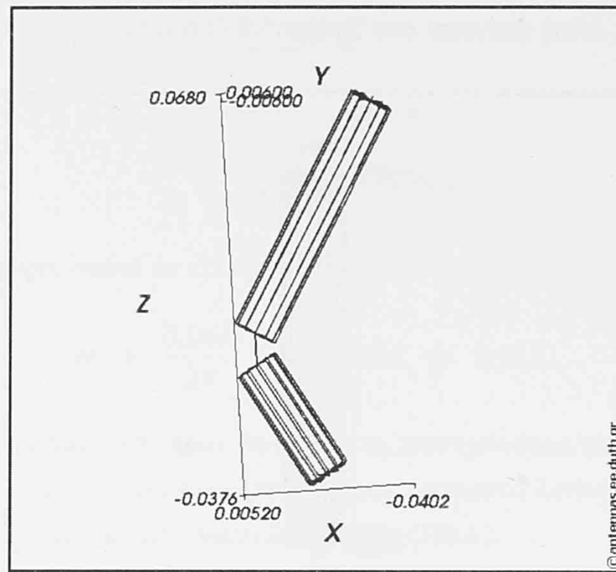
Σχήμα 5.1 : Μοντέλο μη λεπτού διπόλου.



Σχήμα 5.2 : Τροφοδοσία μη λεπτού διπόλου.

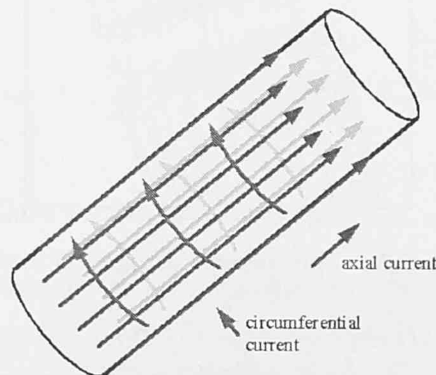
Ειδική περίπτωση του μη λεπτού διπόλου του Σχήματος 5.1 αποτελούν τα ανισοσκελή δίπολα τύπου V. Τα δίπολα αυτά αποτελούνται από άνισα στελέχη τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία διαφορετική από αυτή των 180°, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3.

Η πρώτη παραδοχή που κάνουμε είναι ότι τα ρεύματα ρέουν μόνο στην επιφάνεια του διπόλου. Αυτή η παραδοχή είναι ρεαλιστική καθώς το σύρμα του διπόλου είναι καλός αγωγός και η συχνότητα είναι αρκετά υψηλή. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας η συνθήκη αυτή ικανοποιείται με ευκολία. Ακόμα και σε πολύ χαμηλές συχνότητες άλλοι περιορισμοί και υπολογιστικά λάθη μπορούν να εισάγουν μεγαλύτερα σφάλματα από την παραδοχή που έχουμε κάνει.



Σχήμα 5.3 : Ανισοσκελές δίπολο τύπου V.

Σε ένα πραγματικό σύρμα τα επιφανειακά ρεύματα εμφανίζουν αξονικές και αζιμουθιακές συνιστώσες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4. Η βασική παραδοχή που γίνεται στο Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος είναι ότι όλα τα επιφανειακά ρεύματα βρίσκονται στη διεύθυνση του άξονα του λεπτού σύρματος. Κατά τον τρόπο αυτό δε λαμβάνουμε υπόψη τις γωνιακές συνιστώσες των αζιμουθιακών επιφανειακών ρευμάτων.



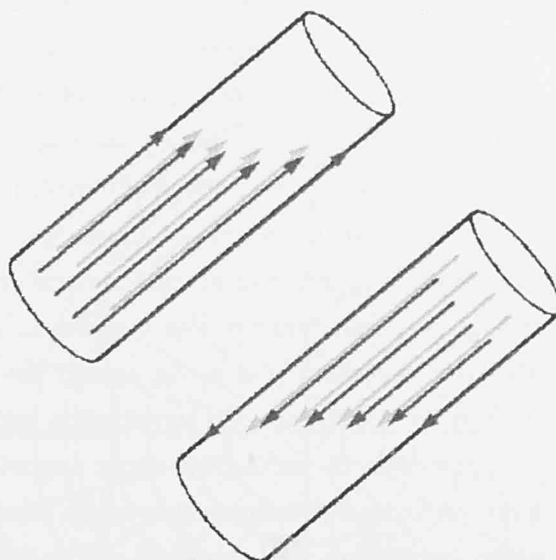
Σχήμα 5.4 : Συνιστώσες επιφανειακών ρευμάτων, [1].

Όταν ένα δίπολο-σύρμα βρίσκεται μόνο του στον χώρο ή μακριά από άλλα σύρματα τότε η ρευματική κατανομή είναι ομοιόμορφη-ισοκατανεμημένη στα σημεία της περιφέρειας μιας διατομής του μη-λεπτού στελέχους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5. Στην περίπτωση όμως που δύο σύρματα βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο η κατανομή αυτή αναμένεται να μην είναι σταθερή αλλά να μεταβάλλεται. Συγκεκριμένα λόγω της γειτνίασης μεταξύ των διπόλων περιμένουμε η πυκνότητα του ρεύματος να είναι μεγαλύτερη

σε ένα σημείο της περιφερείας, το οποίο θα είναι πλησιέστερα ως προς το άλλο δίπολο, από ότι σε ένα άλλο σημείο της ίδιας περιφέρειας θα είναι μακρύτερα ως προς το άλλο δίπολο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6, [34]. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε δύο παράλληλα δίπολα τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους ή στην περίπτωση των δύο στελεχών ενός διπόλου V.



Σχήμα 5.5 : Ρευματική κατανομή ενός σύρματος στον χώρο, [1].



Σχήμα 5.6 : Φαινόμενο μη ομοιόμορφης ρευματικής κατανομής, [1].

Για να αντιμετωπίσουμε μια τέτοια κατάσταση σκεφθήκαμε να χρησιμοποιήσουμε στους κλωβούς κάγκελα μεγαλύτερης ακτίνας στα εγγύτερα μεταξύ των κλωβών κάγκελα και βαθμηδόν μικρότερα στα μακρύτερα μεταξύ των κλωβών κάγκελα. Τη δυνατότητα αυτή μας την παρέχει το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ).

Μια άλλη πολύ σημαντική πρακτική εφαρμογή του μοντέλου μας εκτός από την

προσομοίωση ενός μη λεπτού διπόλου και των ρευματικών κατανομών του είναι η δημιουργία κεραιών τύπου κλωβού. Αντί δηλαδή να προσομοιώνουμε συμπαγή μη λεπτά δίπολα δημιουργούμε κεραίες που αποτελούνται από πλέγμα λεπτών συρμάτων και οι οποίες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα. Το πιο σημαντικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι παρουσιάζουν αυξημένο εύρος ζώνης σε σχέση με ένα λεπτό δίπολο ίδιου μεγέθους, [2, 35]. Η διαφορά του μοντέλου μας με κάποια της βιβλιογραφίας βρίσκεται κυρίως στα άκρα των διπόλων όπου έμεις τα τερματίζουμε κάθετα ενώ σε άλλα μοντέλα τερματίζουν σε μια κωνική μορφή.

5.4 : Δίπολα τύπου V.

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στον τρόπο μοντελοποίησης ενός μη λεπτού διπόλου τόσο ευθύγραμμου όσο και τύπου V. Τα χαρακτηριστικά των ευθύγραμμων διπόλων είναι ευρέως γνωστά και για τον λόγο αυτόν παρατίθενται μόνο αυτά των V διπόλων.

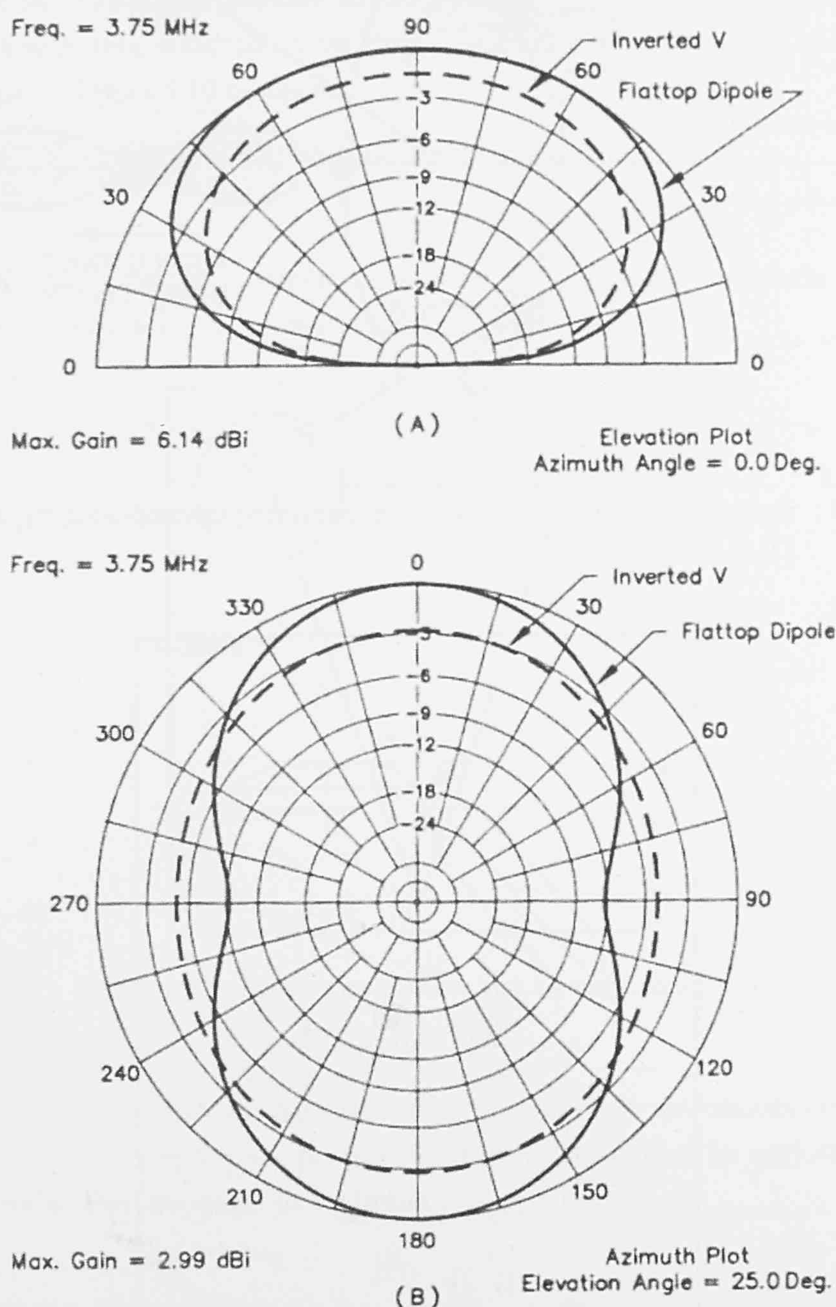
Τα σκέλη ενός διπόλου μπορούν να αναδιπλωθούν σχηματίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα ανεστραμμένο δίπολο τύπου V. Το πλεονέκτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι απαιτείται ένας μόνο μεγάλος ιστός για τη στήριξή του καθώς και λιγότερος οριζόντιος χώρος για την τοποθέτησή του. Υπάρχουν ωστόσο διαφορές ανάμεσα σε ένα ευθύγραμμο δίπολο και σε ένα τύπου V, οι οποίες φαίνονται κυρίως στο διάγραμμα ακτινοβολίας τους, Σχήμα 5.7, όπου υπάρχει μια μικρή απώλεια στο κέρδος κορυφής και έτσι το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι λιγότερο κατευθυντικό, [2].

Η αναδίπλωση των σκελών του διπόλου οδηγεί σε μικρότερη συχνότητα συντονισμού καθώς και σε μειωμένη τιμή της αντίστασης εισόδου στο σημείο τροφοδοσίας και σε μειωμένο εύρος ζώνης. Επομένως, για την ίδια συχνότητα, το μήκος του διπόλου πρέπει να μειωθεί κατά έναν συντελεστή. Η γωνία μεταξύ των σκελών δεν παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρολο αλλά θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 90°. Για να γίνει η προσαρμογή του διπόλου βρίσκουμε τη γωνία στην οποία εμφανίζεται το μικρότερο SWR διατηρώντας το δίπολο συντονισμένο αυξομειώνοντας το μήκος του, [2].

Κεραίες τύπου V δε χρησιμοποιούνται μόνο ως δίπολα λ/2 αλλά και ως ηλεκτρικά μεγάλα δίπολα, [2]. Σε αυτήν την περίπτωση αντί να έχουμε δύο σύρματα παράλληλα, όπως συνηθίζεται σε κατασκευές, μπορούμε να τα τοποθετήσουμε με τέτοιον τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα οριζόντιο V. Τα ρεύματα τροφοδοσίας των δύο συρμάτων πρέπει να είναι εκτός φάσης (διαφορά φάσης 180°). Κάτω από αυτές τις συνθήκες τα διαγράμματα ακτινοβολίας του κάθε σύρματος συνδυάζονται κατά τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 5.8, [3]. Κατά μήκος της διχοτόμου της γωνίας που σχηματίζουν τα δύο σύρματα, τα πεδία του κάθε σύρματος ενισχύουν το ένα το άλλο. Οι υπόλοιποι λοβοί αλληλοεξουδετερώνται και το τελικό διάγραμμα γίνεται δικατευθυντικό. Οι λοβοί του είναι πιο στενοί από τους αντίστοιχους του διαγράμματος ακτινοβολίας του κάθε

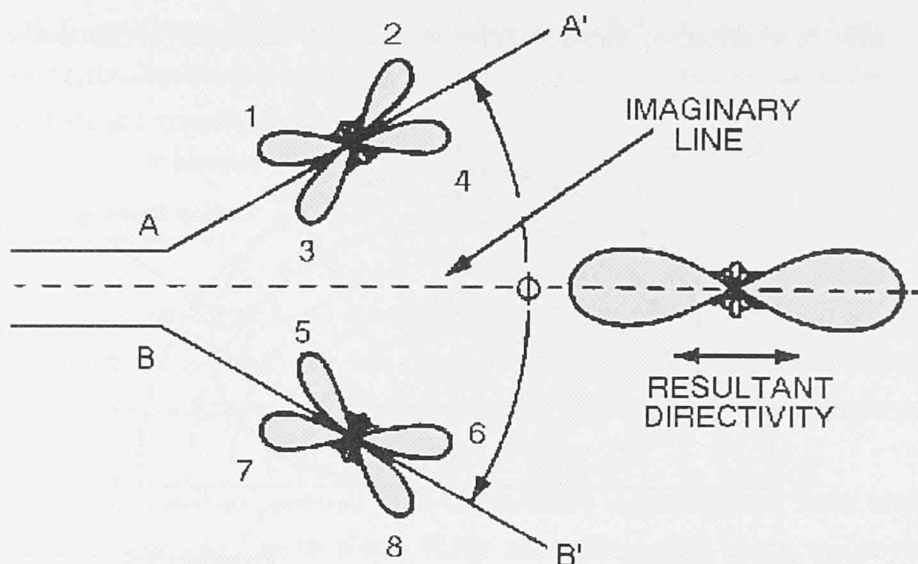
σύρματος χωριστά. Υπάρχουν δευτερεύοντες λοβοί γύρω από τη διχοτόμο της γωνίας, οι οποίοι έχουν αρκετά μικρό πλάτος αν το μήκος των συρμάτων είναι αρκετά μεγάλο σε μήκη κύματος. Η κεραία V που περιγράψαμε όταν χρησιμοποιείται για μεγάλο εύρος συχνοτήτων, τα χαρακτηριστικά της δε μεταβάλλονται πολύ, σε αυτό το εύρος, αν τα μήκη των συρμάτων της είναι αρκετά μεγάλα (ηλεκτρικά) στη μικρότερη συχνότητα.

Μια άλλη προτεινόμενη διάταξη κεραίας τύπου V είναι αυτή που φαίνεται στο

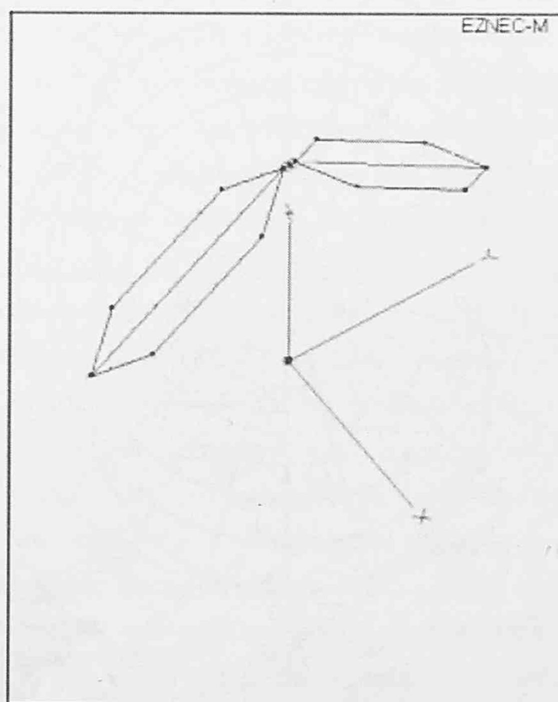


Σχήμα 5.7 : Διαγράμματα ακτινοβολίας:(A) κατά την ανύψωση και (B) κατά το αζιμούθιο ενός ευθύγραμμου διπόλου 80m και ενός τύπου V, [2].

Σχήμα 5.9, [4].Κεραίες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται για την επίτευξη μεγάλου εύρους ζώνης σε χαμηλές συχνότητες.



Σχήμα 5.8 : Σχηματισμός δικατευθυντικού διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας V, [3].

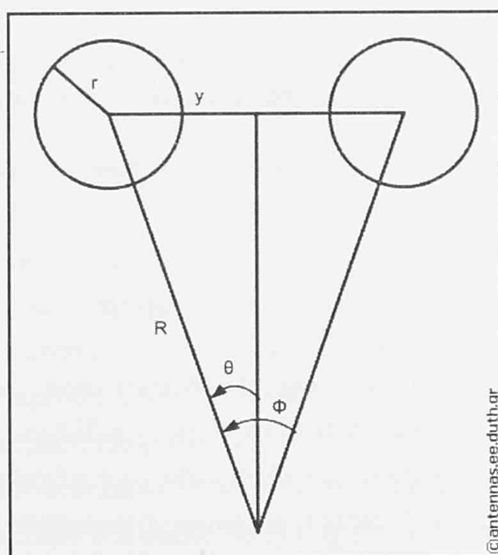


Σχήμα 5.9 : Προτεινόμενο μοντέλο κεραίας τύπου V ευρείας ζώνης, [4].

5.5 : Γεωμετρικοί περιορισμοί.

Στο μοντέλο του μη λεπτού δίπολου που θεωρήσαμε πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι γεωμετρικοί περιορισμοί ώστε να μην υπάρχουν αλληλοεπικαλυπτόμενα σύρματα. Ο πρώτος περιορισμός έχει να κάνει με την ακτίνα των λεπτών περιφερειακών συρμάτων που απαρτίζουν το μη λεπτό δίπολο. Αν επιλέξουμε για παράδειγμα μεγάλο αριθμό συρμάτων με σχετικά μεγάλη ακτίνα και η ακτίνα του μη λεπτού διπόλου είναι σχετικά μικρή τότε τα σύρματα θα πέφτουν το ένα πάνω στο άλλο. Για να αποφευχθεί αυτό πρέπει η μεταξύ τους απόσταση y να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα του καθενός. Σύμφωνα με το Σχήμα 5.10 έχουμε:

- $\phi = \frac{360^\circ}{\mathrm{N}}$, όπου N ο αριθμός των λεπτών συρμάτων.
- $\theta = \frac{\phi}{2}$
- $\sin(\theta) = \frac{\mathrm{y}}{\mathrm{R}} \Rightarrow \mathrm{y} = \sin(\theta) \cdot \mathrm{R}$, όπου R η ακτίνα του μη λεπτού διπόλου.
- Αν $Y > r$ τότε δεν υπάρχει πρόβλημα.



Σχήμα 5.10 : Κάτοψη δύο λεπτών συρμάτων από τα οποία αποτελείται ο κλωβός.

Ο δεύτερος περιορισμός έχει να κάνει με την γωνία μεταξύ των σκελών ενός διπόλου τύπου V. Αν αυτή η γωνία γίνει αρκετά μικρή τότε το ένα σκέλος θα αρχίσει να πέφτει πάνω στο άλλο. Έτσι συμφωνα με το Σχήμα 5.11 εχουμε:

Σχήμα 5.11 : Γωνία μεταξύ των σκελών μη λεπτού διπόλου V.

Στην οριακή περίπτωση που τα δυο σκέλη θα ακουμπούν μεταξύ τους εχουμε:

$$\sin(\phi) = \frac{y_{min}}{R} \Rightarrow y_{min} = \sin(\phi) \cdot R$$

Σε κάθε άλλη περίπτωση:

$$\sin(\theta) = \frac{y}{x} \Rightarrow y = \sin(\theta) \cdot x$$

όπου x το μισό του διάκενου μεταξύ των σκελών όταν αυτά είναι υπο γωνία 180°. Αν το y είναι μεγαλύτερο από το y_{min} τότε δεν υπάρχει πρόβλημα.

Οι περιορισμοί αυτοί λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των δίπολων από τα προγράμματα EvalNTD και NTD ώστε η παραγόμενη γεωμετρία να μην έχει σφάλματα.

5.6 : Μέθοδος των ροπών.

Αν η ρευματική κατανομή που διεγείρει μια κεραία είναι γνωστή, δεν υπάρχει μεγάλη δυσκολία στον υπολογισμό του ακτινοβολούμενου πεδίου. Το πρόβλημα είναι να καθοριστεί σωστά η ρευματική κατανομή σε μια κεραία έτσι ώστε το πεδίο που προκύπτει από αυτήν να ικανοποιεί τις επιφανειακές συνθήκες στην κεραία. Στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούμε να κάνουμε μια καλή εκτίμηση της πραγματικής ρευματικής κατανομής με ικανοποιητική ακρίβεια αποκτώντας έτσι μια πολύ καλή προσέγγιση του ακτινοβολούμενου πεδίου.

Τη λύση στο πρόβλημα της ακριβής εύρεσης της ρευματικής κατανομής μιας κεραίας έρχεται να δώσει η μέθοδος των ροπών. Η μέθοδος των ροπών επιλύει πολύπλοκες

ολοκληρωτικές εξισώσεις με το να τις απλοποιεί σε ένα σύστημα απλών γραμμικών εξισώσεων. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η μέθοδος των ροπών αναλύεται παρακάτω.

Είναι γνωστές οι εξισώσεις που δίνουν το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο για το απλό δίπολο. Αυτές λειτουργούν πολύ ικανοποιητικά για το δίπολο, δε συμβαίνει το ίδιο όμως για τις υπόλοιπες κεραίες που αποτελούνται από διάφορα σύρματα συνδυασμένα μεταξύ τους με διάφορους τρόπους. Γι' αυτόν τον λόγο μοντελοποιούμε την κεραία χωρίζοντάς την σε μικρά τμήματα, καθένα από τα οποία μπορεί να συμπεριφερθεί ως ένα μικρό μονόπολο και να περιγραφεί από τις γνωστές εξισώσεις. Τελικά συνδυάζοντας δύο μονόπολα δημιουργείται ένα δίπολο.

Οι ρευματικές κατανομές υπολογίζονται με βάση το ακόλουθο γραμμικό σύστημα:

$$[\dot{z}] \cdot [\dot{I}] = [\dot{V}]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_{11} & \dot{z}_{12} & \cdots & \dot{z}_{1n} \\ \dot{z}_{21} & \dot{z}_{22} & \cdots & \dot{z}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{z}_{n1} & \dot{z}_{n2} & \cdots & \dot{z}_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \vdots \\ \dot{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \vdots \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} \tag{5.9}$$

όπου ο πίνακας $[\dot{z}]$ είναι ο πίνακας των αμοιβαίων αντιστάσεων μεταξύ των διπόλων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο πίνακας $[\dot{z}]$ είναι συμμετρικός επειδή λόγω της αρχής της αντιστρεπτότητας ισχύει $\dot{z}_{nm} = \dot{z}_{mn}$ και έτσι τα άγνωστα στοιχεία είναι $k = \frac{n(n-1)}{2} + n$ αντί για n^2. Ακόμη στον πίνακα $[\dot{V}]$ συνήθως μόνο ένα στοιχείο έχει τιμή διάφορη του μηδενός, αφού υπάρχει μόνο μία πηγή στις περισσότερες συστοιχίες. Έτσι λοιπόν, αφού υπολογιστούν οι αμοιβαίες αντιστάσεις, μπορεί εύκολα να λυθεί το άνωθεν γραμμικό σύστημα. Βέβαια, ο υπολογισμός των αμοιβαίων αντιστάσεων είναι πολύ δύσκολη υπόθεση και μόνο χάρη σε προγράμματα υπολογιστή μπορούμε να πάρουμε λύση. Τελικά, αφού γνωρίζουμε τα ρεύματα μπορούμε να υπολογίσουμε τα πεδία των N - 1 διπόλων και αθροίζοντάς τα παίρνουμε μια πολύ ικανοποιητική εκτίμηση του πεδίου της κεραίας.

Ο αριθμός των τμημάτων στα οποία θα χωριστεί η κεραία διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση. Γενικά δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος αριθμός τμημάτων ανά μήκος κύματος σύμφωνα με τον οποίο θα χωριστεί μια κεραία. Ωστόσο το μέγιστο μήκος ενός τμήματος θα πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω κανόνα:

$$L \leq \frac{1}{4}\lambda \tag{5.10}$$

Γενικά χωρίζουμε την κεραία σε σημεία ή κόμβους οι οποίοι ορίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες. Έτσι οι κόμβοι ορίζονται ως:

1. Τα ελεύθερα ή ανοιχτά άκρα.
2. Οι γωνίες που σχηματίζονται.
3. Τα σημεία σύνδεσης περισσότερων του ενός συρμάτων.
4. Τα σημεία που βρίσκονται πηγές ή φορτία.

5. Επιπλέον σημεία τέτοια ώστε να ικανοποιείται ο κανόνας $L \leq \frac{1}{4}\lambda$.

Η τάξη κόμβου ορίζεται ως ο αριθμός των συρμάτων που καταλήγουν στον κόμβο. Ο δε αριθμός των διπόλων που ορίζει ένας κόμβος ισούται με την τάξη κόμβου -1. Για τις άνωθεν πέντε περιπτώσεις η τάξη κόμβου και τα δίπολα αντίστοιχα ορίζονται στον παρακάτω πίνακα:

	1.	2.	3.	4.	5.
Τάξη κόμβου	1	2	3+	2+	2
Δίπολα	0	1	2+	1+	1

Πίνακας 5.1 : Δίπολα και τάξη κόμβου στους κόμβους.

Τα τμήματα ορίζονται από δύο κόμβους όπου ο ένας είναι η αρχή και ο άλλος το τέλος, έτσι ώστε να οριστεί η κατεύθυνση $\vec{I}_i$ αλλά και η φορά του ρεύματος. Τα ρεύματα κλάδου ορίζονται στα άκρα ενός τμήματος. Δηλαδή υπάρχει το ρεύμα εισόδου και το ρεύμα εξόδου. Τέλος, τα διπολικά ρεύματα ορίζονται από τα ρεύματα κλάδου δύο συνεχόμενων τμημάτων, έτσι ουσιαστικά ορίζεται η ρευματική κατανομή ενός διπόλου.

5.7 : Ιδία και αμοιβαία αντίσταση μεταξύ διπόλων.

Αν δοθούν δύο πηγές (κεραίες) ηλεκτρικού ρεύματος, τότε ορίζεται [2] ως αμοιβαία αντίδραση ή αντίδραση της πηγής 2 στο πεδίο που οφείλεται στην πηγή 1, το μέγεθος:

$$(2,1) = \iiint_V (\bar{J}_2 \cdot \bar{E}_{21}) dv \tag{5.11}$$

Όπου:

$\bar{J}_2$ είναι η πυκνότητα ρεύματος στην πηγή 2.

$\bar{E}_{21}$ είναι το ηλεκτρικό πεδίο πάνω στην πηγή 2, που οφείλεται στην πηγή 1.

Ο ορισμός αυτός επεκτείνεται και στην περίπτωση της αυτοαντίδρασης, εφόσον γίνει χρήση γενικευμένης ολοκλήρωσης, και τότε ισχύει η σχέση:

$$(1,1) = \iiint_V (\bar{J}_1 \cdot \bar{E}_{11}) dv \tag{5.12}$$

Κατά ανάλογο τρόπο ορίζονται και οι αντιδράσεις (1,2) και (2,2). Επίσης επειδή θεωρούμε ότι το περιβάλλον των πηγών είναι αντιστρεπτό, ισχύει:

$$(2,1) = (1,2) \tag{5.13}$$

Αποδεικνύεται ότι για δύο κεραίες με καλώς ορισμένα ζεύγη ακροδεκτών στα οποία εισέρχονται αντίστοιχα ρεύματα εισόδου $\dot{I}_1$ και $\dot{I}_2$, η αμοιβαία αντίσταση των κεραιών

δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{z}_{21} = -\frac{(2,1)}{\dot{I}_1\dot{I}_2} \tag{5.14}$$

Προφανώς, λόγω της αρχής της αντιστρεπτότητας, ισχύει:

$$\dot{z}_{21} = \dot{z}_{12} \tag{5.15}$$

5.8 : Υπολογισμός αντίστασης εισόδου και ιδίας αντίστασης.

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει μια κεραία είναι η αντίσταση εισόδου. Για να υπολογίσουμε την αντίσταση εισόδου πρέπει να γνωρίζουμε την τάση και το ρεύμα στην είσοδο της κεραίας. Με τη μέθοδο που χρησιμοποιούμε ορίζουμε ένα διακριτό ζεύγος ακροδεκτών ως είσοδο, θεωρούμε γνωστή την τάση τροφοδοσίας (διέγερση) και ίση με 1V σε πλάτος και 0° σε φάση. Το μόνο που χρειαζόμαστε για να υπολογίσουμε την αντίσταση εισόδου είναι το ρεύμα εισόδου, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο των ροπών. Έτσι λοιπόν η αντίσταση εισόδου δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Z}_{INP} = \frac{\dot{V}_{INP}}{\dot{I}_{INP}} = \frac{1}{\dot{I}_{INP}} \tag{5.16}$$

Στην περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε την ιδία αντίσταση ενός διπόλου τότε η αντίσταση αυτή συμπίπτει με την αντίσταση εισόδου του. Έτσι εχουμε $\dot{Z}_{INP} = \dot{Z}_s$, όπου $\dot{Z}_s$ είναι η ιδία αντίσταση.

5.9 : Υπολογισμός αμοιβαίας αντίστασης.

Για να υπολογίσουμε την αμοιβαία αντίσταση μεταξύ δύο διπόλων θεωρούμε το σύστημα των δύο αυτών διπόλων σαν ένα δίθυρο, με εισόδους τα ζεύγη των ακροδεκτών.

Το δίθυρο αυτό, με τη βοήθεια των Y παραμέτρων περιγράφεται από το παρακάτω σύστημα:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \tag{5.17}$$

Η αμοιβαία αντίσταση $\dot{z}_{12}$ συναρτήσει των παραμέτρων Y δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{z}_{12} = -\frac{\dot{Y}_{12}}{|Y|} \tag{5.18}$$

όπου $|Y|$:

$$|Y| = \dot{Y}_{11}\dot{Y}_{22} - \dot{Y}_{12}\dot{Y}_{21} \tag{5.19}$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν την αμοιβαία αντίσταση πρέπει να υπολογιστούν οι

παράμετροι Y. Σύμφωνα λοιπόν με την εξίσωση 5.17 έχουμε

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{11} \cdot \dot{V}_1 + \dot{Y}_{12} \cdot \dot{V}_2 &= \dot{I}_1 \\ \dot{Y}_{21} \cdot \dot{V}_1 + \dot{Y}_{22} \cdot \dot{V}_2 &= \dot{I}_2 \end{aligned} \tag{5.20}$$

Ο υπολογισμός των παραμέτρων Y γίνεται σε δυο βήματα

Βήμα 1: Τροφοδοτούμε το πρώτο δίπολο και βραχυκυκλώνουμε το δεύτερο, οπότε $\dot{V}_2 = 0$, $\dot{V}_1 = \dot{V}_{inp} = 1V$, και υπολογίζουμε τα ρεύματα $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$, σύμφωνα με τη μέθοδο των ροπών, στις δυο θύρες. Έτσι από την σχέση 5.20 έχουμε:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{11} \cdot \dot{V}_1 &= \dot{I}_1 \\ \dot{Y}_{21} \cdot \dot{V}_1 &= \dot{I}_2 \end{aligned} \tag{5.21}$$

και τελικά

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{11} &= \frac{\dot{I}_1}{\dot{V}_1} = \dot{I}_1 \\ \dot{Y}_{21} &= \frac{\dot{I}_2}{\dot{V}_1} = \dot{I}_2 \end{aligned} \tag{5.22}$$

Βήμα 2: Τροφοδοτούμε το δεύτερο δίπολο και βραχυκυκλώνουμε το πρώτο, οπότε $\dot{V}'_1 = 0$, $\dot{V}'_2 = \dot{V}_{inp} = 1V$, και υπολογίζουμε τα ρεύματά $\dot{I}'_1$, $\dot{I}'_2$, σύμφωνα με τη μέθοδο των ροπών, στις δυο θύρες. Έτσι από την σχέση 5.20 έχουμε:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{12} \cdot \dot{V}'_2 &= \dot{I}'_1 \\ \dot{Y}_{22} \cdot \dot{V}'_2 &= \dot{I}'_2 \end{aligned} \tag{5.23}$$

και τελικά

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{12} &= \frac{\dot{I}'_1}{\dot{V}'_2} = \dot{I}'_1 \\ \dot{Y}_{22} &= \frac{\dot{I}'_2}{\dot{V}'_2} = \dot{I}'_2 \end{aligned} \tag{5.24}$$

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζονται όλες οι παράμετροι Y. Αντικαθιστώντας λοιπόν στη σχέση 5.18 έχουμε:

$$\dot{z}_{12} = -\frac{\dot{I}'_1}{\dot{I}_1\dot{I}'_2 - \dot{I}'_1\dot{I}_2} \tag{5.25}$$

Λόγο της αρχής της αμοιβαιότητας έχουμε

$$\dot{z}_m = \dot{z}_{21} = \dot{z}_{12} \tag{5.26}$$

δηλαδή τελικά

$$\dot{z}_m = -\frac{\dot{I}'_1}{\dot{I}_1\dot{I}'_2 - \dot{I}'_1\dot{I}_2} \tag{5.27}$$

Στην περίπτωση που έχουμε δυο όμοια δίπολα αρκεί το ένα βήμα για τον υπολογισμό της αμοιβαίας αντίστασης καθώς:

$\dot{Y}_{11} = \dot{Y}_{22},\ \dot{I}_1 = \dot{I}'_2,\ \dot{z}_{11} = \dot{z}_{22}$

και η σχέση που μας δίνει την αμοιβαία αντίσταση γίνεται:

$$\dot{z}_m = -\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1^2 - \dot{I}_2^2} \tag{5.28}$$

5.10 : Βασικά στοιχεία του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ).

Το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ) είναι μια επέκταση του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος (ΠΛΣ) για κεραίες λεπτών συρμάτων με διαφορετικές ακτίνες. Η θεώρηση συρμάτων διαφορετικής ακτίνας οδηγεί στον υπολογισμό, με τη μέθοδο των ροπών, σε μη συμμετρικό πίνακα αντιστάσεων [ż].

Επεκτείνοντας τη συνθήκη λεπτότητας του σύρματος μπορούμε να ισχυριστούμε ότι επειδή η ακτίνα οποιουδήποτε σύρματος είναι μικρότερη ή ίση της μεγαλύτερης των ακτίνων, η οποία με τη σειρά της είναι πολύ μικρότερη του μήκους κύματος, η μορφή των ελεύθερων άκρων μπορεί να αγνοηθεί. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο η μορφή των συνδέσεων συρμάτων ίδιας ή διαφορετικής ακτίνας μπορεί επίσης να αγνοηθεί διότι η διαφορά των ακτίνων στο σημείο σύνδεσης θα είναι μικρότερη της μεγαλύτερης ακτίνας.

Ο μη συμμετρικός πίνακας αντιστάσεων [ż] που υπολογίζεται με τη μέθοδο των ροπών, οφείλεται σε συνδέσεις διαδοχικών συρμάτων διαφορετικών ακτίνων. Αν αγνοήσουμε αυτή τη διαφορετικότητα των ακτίνων, τότε δεν περιγράφουμε σωστά την κεραία που μελετάμε. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μια ποικιλία τεχνικών που όλες αφορούν τρόπους συμμετρικοποίησης του πίνακα [ż] με κατάλληλο υπολογισμό αμοιβαίων αντιστάσεων, [9]:

1. Υπολογισμός του πίνακα [ż] μια φορά με τη μεγαλύτερη α_{max} ακτίνα και μια φορά με τη μικρότερη α_{min}. Τελικά ως πίνακα [ż] παίρνουμε τον μέσο όρο των δύο υποπινάκων που προκύπτουν αντιστοίχως.
2. Υπολογισμός με θεώρηση του μέσου όρου των ακτίνων: $\alpha_\mu = \dfrac{\alpha_i + \alpha_j}{2}$, όπου α_i η ακτίνα ενός σύρματος i και α_i η ακτίνα του διαδοχικού του j.
3. Θεώρηση της μέσης τιμής των αντιστάσεων: $\dot{z}_\mu = \dfrac{\dot{z}_{ij(\alpha_i)} + \dot{z}_{ij(\alpha_j)}}{2}$, όπου $\dot{z}_{ij(\alpha_i)}$ είναι η αμοιβαία αντίσταση δύο διαδοχικών συρμάτων i και j, υπολογισμένη με ακτίνα α_i (και για τα δύο σύρματα) και $\dot{z}_{ij(\alpha_j)}$ η αμοιβαία αντίσταση των συρμάτων i και j με ακτίνα α_j.

Κεφάλαιο 6 : Περιγραφή και ανάλυση λογισμικού.

6.1 : Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο περιγράφονται όλα τα απαραίτητα προγράμματα που υλοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις που έγιναν στη διατριβή. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε αποτελείται από δυο μέρη. Το πρώτο μέρος (πρόγραμμα) ήταν αυτό που αναπτύχθηκε πρώτα και το οποίο αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση της ιδίας και αμοιβαίας αντίστασης λεπτών διπόλων προσομοιωμένων με το μοντέλο του μη λεπτού διπόλου, με τα διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε και σύγκριση της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού διπόλου με τα αντίστοιχο διάγραμμα της βιβλιογραφίας. Έτσι λοιπόν αποδεικνύεται ότι το πρόγραμμα είναι κατάλληλο και για τον υπολογισμό της ιδίας, της αμοιβαίας και της αντίστασης εισόδου μη λεπτών ευθύγραμμων διπόλων και για την εξαγωγή διαγραμμάτων συναρτήσει κανονικοποιημένων μεγεθών.Το δεύτερο αποτελεί επέκταση του πρώτου για υπολογισμό παράμερων N ανισοσκελών δίπολων στο χώρο. Ωστόσο αρχικά για λόγους επαλήθευσης χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση της ιδίας αντίστασης ενός διπόλου V με τα αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων προγραμμάτων.

6.2 : Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του προγράμματος επαλήθευσης EvalNTD.

Η ανάπτυξη του λογισμικού έγινε σε γλώσσα Python v2.3, [36] και ο κώδικας μπορεί να εκτελεστεί τόσο σε περιβάλλων Windows όσο και σε περιβάλλον Linux χωρίς καμία τροποποίηση. Για να καλυφθούν όλες οι ανάγκες και οι απαιτήσεις όπως η δημιουργία γραφικής διεπαφής χρηστή, γραφήματα, μαθηματικές λειτουργίες κ.α χρησιμοποιήθηκε ένα πλήθος πακέτων-βιβλιοθηκών (modules).

- **GTK, PyGTK**: Το GTK και η επέκταση αυτού για την Python (PyGTK) χρη-

σιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της Γραφικής Διεπαφής Χρήστη (GUI). Συγκεκριμένα ως περιβάλλον ανάπτυξης (Design Environment) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GLADE το οποίο υποστηρίζει τη χρήση GTK, [37].

- **MatPlotLib**: Το MatPlotLib αποτελεί μια βιβλιοθήκη όπου παρέχονται όλες οι συναρτήσεις για τη δημιουργία διαγραμμάτων και γραφημάτων δυο διαστάσεων. Το MatPlotLib παρέχει όλες τις δυνατότητες και ευκολίες του MATLAB για τη δημιουργία διαγραμμάτων αλλά δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν, [38].
- **VTK (Visualization Toolbox), Mayavi**: Το VTK αποτελεί ένα από τα πιο δυνατά πακέτα γραφικής απεικόνισης και παρέχει ένα πλήθος συναρτήσεων σε Python, C++ και άλλες γλώσσες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το VTK μαζί με ένα επιπλέον πακέτο του το Mayavi, χρησιμοποιήθηκαν για την γραφική αναπαράσταση της γεωμετρίας των κεραιών στο χώρο, [39].
- **Scipy, Numeric Python**: Το Scipy (Scientific Python) μαζί με το Numeric επεκτείνουν τις δυνατότητες της Python και παρέχουν ένα πλήθος δυνατοτήτων για μαθηματικούς χειρισμούς και ιδιαίτερα για χειρισμό πινάκων, κάνοντας την Python τόσο εύχρηστη και δυναμική όπως το MATLAB. Στο Scipy περιέχονται τα πολύ γνωστά μαθηματικά πακέτα LAPACK και BLAS, [40].

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ), το οποίο χρησιμοποιείται για την ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση, είναι γραμμένο σε γλώσσα FORTRAN. Στο πρόγραμμα αυτό έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις και διορθώσεις ώστε τελικά να καλύπτει τις απαιτήσεις μας. Όλα τα παραπάνω (βιβλιοθήκες και πακέτα) αποτελούν ελεύθερο λογισμικό (Free software) ανοιχτού κώδικα (Open Source) και όχι κάποιο εμπορικά διαθέσιμο προϊόν.

6.3 : Γενική λειτουργία του προγράμματος EvalNTD.

Το πρόγραμμα EvalNTD χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση διπόλων. Σκοπός είναι η εξαγωγή διαγραμμάτων συναρτήσει κανονικοποιημένων μεγεθών. Ωστόσο για την ορθότητα της λειτουργίας του πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων με ήδη υπάρχοντα διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Έτσι λοιπόν το πρόγραμμα αυτό μπορεί να εξάγει τα ακόλουθα διαγράμματα.

- Διάγραμμα της ιδίας αντίστασης ($\dot{z}_{11}$) ενός μη λεπτού διπόλου για οποιονδήποτε λόγο α/λ, ως προς το h/λ, όπου α η ακτίνα του διπόλου, λ το μήκος κύματος και h το μισό μήκος του διπόλου.
- Διάγραμμα αμοιβαίας αντίστασης ($\dot{z}_{12}$) δυο δίπολων λ/2 ως προς το y0/λ, υπό βαθμίδα 0, λ/4, λ/2 ή τυχαία βαθμίδα, όπου λ το μήκος κύματος και y0 η οριζόντια απόσταση των δίπολων.
- Διάγραμμα αντίστασης εισόδου ($\dot{Z}_{INP}$) N δίπολων λ/2 ως προς τη συχνότητα για οποιαδήποτε βαθμίδα.

6.4 : Περιγραφή του προγράμματος επαλήθευσης EvalNTD.

Το πρόγραμμα EvalNTD αποτελείται από τρεις καρτέλες (Tabs), την καρτέλα Parameters, την καρτέλα Plot και την καρτέλα Parameters for self impedance.

Καρτέλα Parameters

Η καρτέλα Parameters που φαίνεται στο Σχήμα 6.1 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα πεδία για τον σχεδιασμό μη λεπτών διπόλων λ/2 χρησιμοποιώντας λεπτά σύρματα και την εισαγωγή δεδομένων στο Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (ΠΔΑ), δηλαδή περιλαμβάνει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά των μη λεπτών και λεπτών διπόλων.

Σχήμα 6.1 : Η καρτέλα Parameters του EvalNTD.

Ειδικότερα η καρτέλα Parameters αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία, κουμπιά επι-

λογής και κουμπιά λειτουργιών:

- THIN WIRE RANGE: Αν ενεργοποιηθεί η επιλογή αυτή τότε το πρόγραμμα χρησιμοποιεί για την ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος.
- Methods of calculating Z matrix: Μέθοδοι υπολογισμού του πίνακα αντιστάσεων. Οι μέθοδοι αυτές είναι τρεις:
  - AMKL=MAX OF (AMK, AML): Τεχνική υπολογισμού πίνακα αντιστάσεων με ακτίνες AMKL. Προκύπτει από τον μέσο όρο των υποπινάκων του πίνακα αντιστάσεων, που έχουν υπολογιστεί με ακτίνες τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα.
  - AMKL=MEAN VALUE OF (AMK, AML): Τεχνική υπολογισμού πίνακα αντιστάσεων με ακτίνες AMKL κάθε φορά τη μέση τιμή των ακτίνων που έχουν δύο τμήματα της κεραίας.
  - AS THE MEAN VALUE OF VALUES FOR AMK AND AML: Τεχνική υπολογισμού πίνακα αντιστάσεων όπου για κάθε αντίσταση λαμβάνεται κάθε φορά η μέση τιμή των αντιστάσεων δύο τμημάτων της κεραίας με ακτίνες AMK και AML αντίστοιχα.
- EXPORT Z: Αν ενεργοποιηθεί η επιλογή αυτή τότε το πρόγραμμα τυπώνει στο αρχείο εξόδου τον πίνακα αντιστάσεων.
- **Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μη λεπτού διπόλου**: Για τον σχεδιασμό του μη λεπτού διπόλου χρησιμοποιούνται τα εξής πεδία:
  - **Number of thin wires per dipole**: Αριθμός των λεπτών συρμάτων (κάγκελα) από τα οποία αποτελείται ένα μη λεπτό δίπολο.
  - **Radius of non thin dipole**: Ακτίνα του μη λεπτού διπόλου [m].
  - **Reference Frequency**: Συχνότητα λειτουργίας [MHz].
  - **Number of non thin dipoles**: Αριθμός μη λεπτών διπόλων.
  - **Active non thin dipole**: Επιλογή ενεργού μη λεπτού διπόλου.
- **For Zinp calculation**: Υπολογισμός αντίστασης εισόδου για ένα εύρος συχνοτήτων και για την ίδια συχνότητα λειτουργίας.
  - **Start Frequency**: Το κάτω όριο του εύρος συχνοτήτων [MHz].
  - **Stop Frequency**: Το άνω όριο του εύρος συχνοτήτων [MHz].
  - **Step Frequency**: Το βήμα σάρωσης του εύρος [MHz].
- **Insulation characteristics**: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μόνωσης λεπτού σύρματος.
  - **Outer radius of insulation**: Εξωτερική ακτίνα μόνωσης [m].
  - **Dielectric constant of insulation**: Διηλεκτρική σταθερά μόνωσης.
  - **Conductivity of insulation**: Αγωγιμότητα μόνωσης [mhos/m].
  - **Loss tangent of insulation**: Εφαπτομένη απωλειών μόνωσης.
- **Thin wire characteristics**: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά λεπτού σύρματος.

  - **Radius of thin wire**: Ακτίνα λεπτού σύρματος [m] (Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται σαν κοινή ακτίνα για όλα τα μη λεπτά σύρματα σε περίπτωση που δεν εισάγουμε τιμές στα πεδία του πλαισίου **Radius of thin wires**).
  - **Wire conductivity**: Αγωγιμότητα λεπτού σύρματος [mhos/m] (Η τιμή -1.0 δηλώνει την άπειρη αγωγιμότητα).
  - **Dielectric constant of exterior medium**: Διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντα χώρου.
  - **Conductivity of exterior medium**: Αγωγιμότητα περιβάλλοντα χώρου [mhos /m].
  - **Loss tangent of exterior medium**: Εφαπτομένη απωλειών περιβάλλοντα χώρου.
- **Position of non thin dipoles**: Θέση μη λεπτών διπόλων.
  - **Distance of non thin dipoles**: Εύρος τιμών απόστασης μεταξύ των μη λεπτών διπόλων [m].
    - **Start Value**: Αρχική τιμή απόστασης.
    - **Stop Value**: Τελική τιμή απόστασης.
    - **Step**: Βήμα σάρωσης του εύρους τιμών απόστασης.
  - **Distance for Zinp calculation**: Απόσταση μεταξύ των μη λεπτών διπόλων για την περίπτωση υπολογισμού της αντίστασης εισόδου στο εύρος που ορίζεται στο πλαίσιο **For Zinp calculation** [m].
  - **Grade**: Βαθμίδα υπό την οποία είναι τοποθετημένα τα μη λεπτά δίπολα [m]. Υπάρχουν τρεις επιλογές:
    - **Customize**: Η βαθμίδα καθορίζεται από τον αριθμό που εισάγεται στο αντίστοιχο πεδίο.
    - **Grade λ/4**: Η βαθμίδα μεταξύ των μη λεπτών διπόλων είναι λ/4.
    - **Grade λ/2**: Η βαθμίδα μεταξύ των μη λεπτών διπόλων είναι λ/2.
- **Radius of thin wires**: Ακτίνα λεπτών συρμάτων [m]. Η επιλογή των ακτίνων των λεπτών συρμάτων των διπόλων πραγματοποιείται εισάγοντας την αρχική και τελική τιμή τους, οπότε ανάλογα με τον αριθμό των συρμάτων καθορίζονται και οι υπόλοιπες τιμές των ακτίνων. Για το λεπτό σύρμα της πηγής η ακτίνα εισάγεται ξεχωριστά. Συγκεκριμένα υπάρχουν τρία πεδία:
  - **First value of radius**: Το κάτω όριο ενός διαστήματος τιμών για ακτίνες λεπτών συρμάτων.
  - **Last value of radius**: Το άνω όριο ενός διαστήματος τιμών για ακτίνες λεπτών συρμάτων.
  - **Radius of source thin wire**: Ακτίνα του λεπτού σύρματος που περιέχει την πηγή.
- **PHI Values**: Τιμές της γωνίας φ [degrees]. Συγκεκριμένα εισάγονται η αρχική και τελική τιμή της καθώς και το βήμα σάρωσης του εύρους αυτών των τιμών. Για

τον λόγο αυτό υπάρχουν τρία πεδία:

- **Start Value**: Αρχική τιμή της γωνίας φ.
- **Stop Value**: Τελική τιμή της γωνίας φ.
- **Step**: Βήμα σάρωσης της γωνίας φ για τον υπολογισμό σε κάθε τιμή της των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της κεραίας.

  Για λόγους διευκόλυνσης υπάρχουν και κάποιες επιλογές, όπως:
- **Customize**: Οι τιμές της γωνίας φ καθορίζονται από τα πεδία **Start Value** και **Stop Value**.
- +x: Η αρχική τιμή της γωνίας φ είναι 180° και η τελική 0°.
- -x: Η αρχική τιμή της γωνίας φ είναι 0° και η τελική 180°.
- +y: Η αρχική τιμή της γωνίας φ είναι 270° και η τελική 90°.
- -y: Η αρχική τιμή της γωνίας φ είναι 90° και η τελική 270°.

- **THETA Values**: Τιμές της γωνίας θ [degrees]. Συγκεκριμένα εισάγονται η αρχική και τελική τιμή της καθώς και το βήμα σάρωσης του εύρους αυτών των τιμών. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν τρία πεδία:
  - **Start Value**: Αρχική τιμή της γωνίας θ.
  - **Stop Value**: Τελική τιμή της γωνίας θ.
  - **Step**: Βήμα σάρωσης της γωνίας θ για τον υπολογισμό σε κάθε τιμή της των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της κεραίας.

    Για λόγους διευκόλυνσης υπάρχουν και κάποιες επιλογές, όπως:
  - **Customize**: Οι τιμές της γωνίας θ καθορίζονται από τα πεδία **Start Value** και **Stop Value**.
  - +z: Η αρχική τιμή της γωνίας θ είναι 180° και η τελική 0°.
  - -z: Η αρχική τιμή της γωνίας θ είναι 0° και η τελική 180°.
- **Refine Options**: Επιλογές ομοιόμορφης πύκνωσης πλέγματος. Υπάρχουν οι εξής επιλογές:
  - **Customize**: Η επιλογή αυτή καθορίζει τον αριθμό των τμημάτων από τα οποία αποτελείται ένα λεπτό σύρμα (κάγκελο) του μη λεπτού διπόλου και εισάγεται στο πεδίο **Segments/thin wire (power of 2)**. Η τιμή αυτή πρέπει να είναι ίση με δύναμη του 2, για παράδειγμα 2 (=2^1), 4 (=2^2), 8 (=2^3), 16 (=2^4), 32 (=2^5).
  - 4: Το κάγκελο του μη λεπτού διπόλου αποτελείται από 4.
  - 8: Το κάγκελο του μη λεπτού διπόλου αποτελείται από 8.
  - 16: Το κάγκελο του μη λεπτού διπόλου αποτελείται από 16.
  - 32: Το κάγκελο του μη λεπτού διπόλου αποτελείται από 32.
- **Geometry**: Πατώντας το κουμπί αυτό απεικονίζεται η γεωμετρία της κεραίας σε ξεχωριστό παράθυρο με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης Mayavi.
- **Calculate Zinp**: Με το κουμπί αυτό δημιουργείται το κατάλληλο αρχείο εισόδου (in.txt) και καλείται το πρόγραμμα ΠΔΑ για να παράγει το αρχείο εξόδου zout.txt,

το οποίο περιέχει για κάθε συχνότητα την αντίσταση εισόδου.

- **Generate input for Richwire**: Με το κουμπί αυτό παράγεται το αρχείο εισόδου (input.txt) για το πρόγραμμα Richwire.
- **Mutual Impedance Calculation**: Πατώντας το κουμπί αυτό δημιουργείται κάθε φορά το αρχείο εισόδου in.txt για κάθε τιμή της απόστασης μεταξύ των μη λεπτών διπόλων, καλείται το ΠΔΑ και τελικά παράγεται το αρχείο εξόδου cur.txt, το οποίο συγκεντρώνει τα ρεύματα των τμημάτων συναρτήσει αυτής της απόστασης.
- **Refine-Mutual Impedance Calculation**: Το κουμπί αυτό λειτουργεί όπως και το **Mutual Impedance Calculation**. Επιλέγεται στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε το **Refine Options** για να πυκνώνουμε ή να αραιώνουμε το πλέγμα.
- **Quit**. Κουμπί για έξοδο από το πρόγραμμα EvalNTD.

Καρτέλα Plot

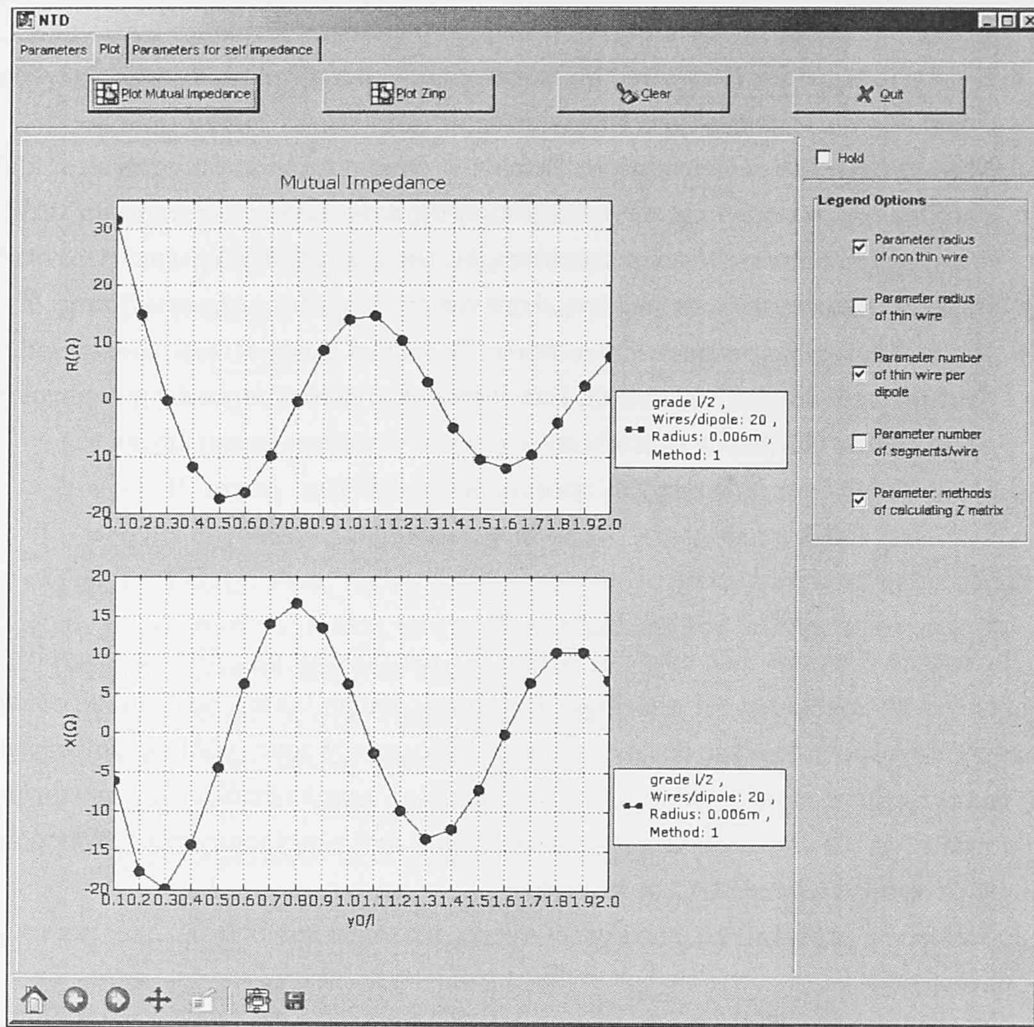
Η καρτέλα Plot που φαίνεται στο Σχήμα 6.2 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα κουμπιά για τον σχεδιασμό της αμοιβαίας αντίστασης δύο μη λεπτών διπόλων λ/2 συναρτήσει της κανονικοποιημένης οριζόντιας απόστασης μεταξύ τους (y0/l) και τον σχεδιασμό της αντίστασης εισόδου οποιουδήποτε αριθμού μη λεπτών διπόλων λ/2 συναρτήσει της συχνότητας. Τα αποτελέσματα προκύπτουν μετά από ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση με τα προγράμματα ΠΔΑ και Richwire.

Ειδικότερα η καρτέλα Plot αποτελείται από τα ακόλουθα κουμπιά επιλογής και κουμπιά λειτουργιών:

- **Plot Mutual Impedance**: Πατώντας το κουμπί αυτό δημιουργούνται τα. διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αμοιβαίας αντίστασης δύο μη λεπτών διπόλων συναρτήσει της κανονικοποιημένης οριζόντιας απόστασης μεταξύ τους.
- **Plot Zinp**: Με το κουμπί αυτό δημιουργούνται τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αντίστασης εισόδου οποιουδήποτε αριθμού μη λεπτών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας.
- **Clear**: Επαναφορά των διαγραμμάτων στην αρχική τους κατάσταση.
- **Quit**: Κουμπί για έξοδο από το πρόγραμμα EvalNTD.
- **Hold**: Αν ενεργοποιηθεί η επιλογή αυτή τα νέα διαγράμματα σχεδιάζονται πάνω στα ήδη υπάρχοντα.
- **Legend Options**: Ανάλογα με τη λεζάντα που θέλουμε να εμφανίζεται στα διαγράμματά μας ενεργοποιούμε τις κατάλληλες επιλογές.

Καρτέλα Parameters for self impedance

Η καρτέλα Parameters for self impedance που φαίνεται στο Σχήμα 6.3 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα πεδία και κουμπιά για τον σχεδιασμό της ιδίας αντίστασης ενός

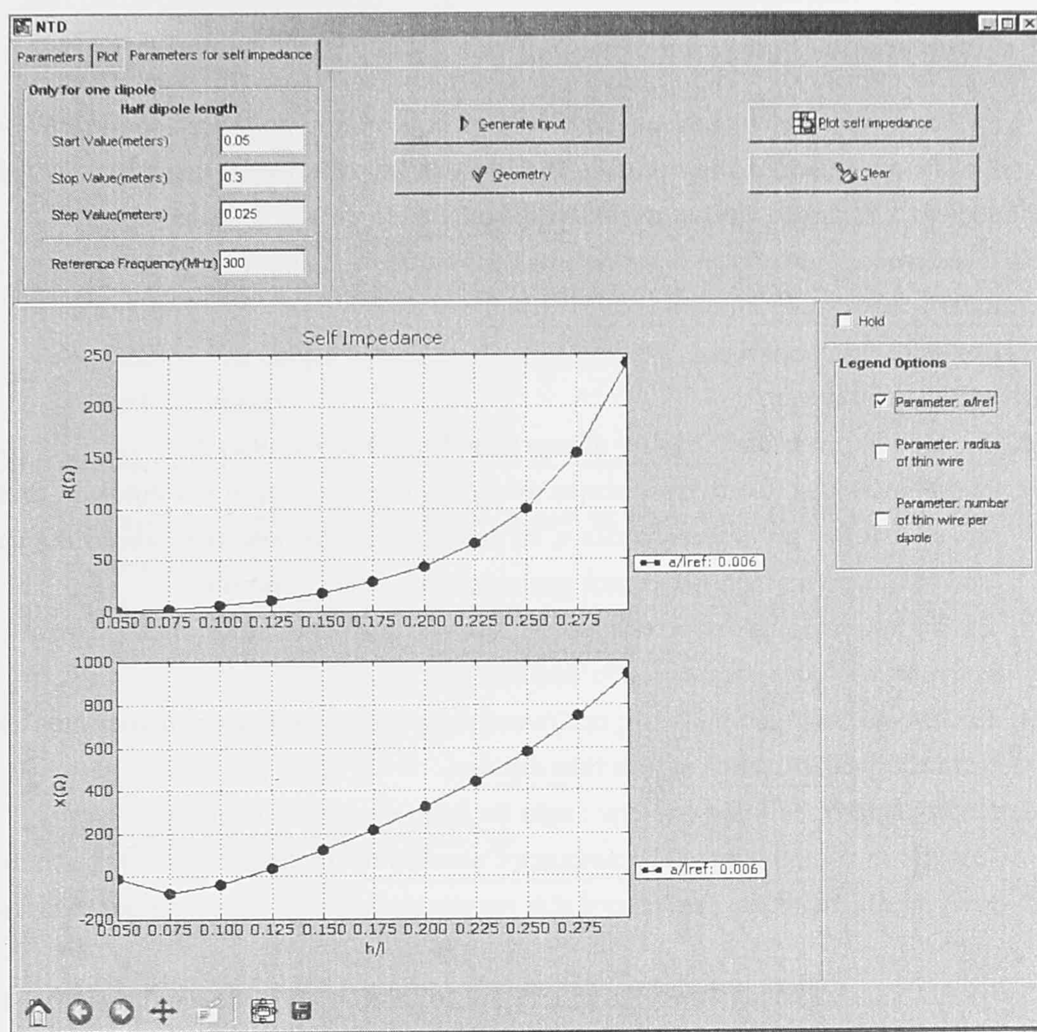


Σχήμα 6.2 : Η καρτέλα Plot του EvalNTD.

μη λεπτού διπόλου συναρτήσει του κανονικοποιημένου ημιμήκους του (h/l). Τα αποτελέσματα προκύπτουν μετά από ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση με τα προγράμματα ΠΔΑ.

Ειδικότερα η καρτέλα Parameters for self impedance αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία, κουμπιά επιλογής και κουμπιά λειτουργιών:

- **Half dipole length**: Εύρος τιμών του ημιμήκους (h) ενός μη λεπτού διπόλου [m]. Υπάρχουν τρία πεδία:
  - **Start Value**: Αρχική τιμή του εύρους.
  - **Stop Value**: Τελική τιμή του εύρους.
  - **Step Value**: Βήμα σάρωσης του εύρους.
- **Reference Frequency**: Συχνότητα λειτουργίας [MHz].
- **Self Impedance Calculation**: Πατώντας το κουμπί αυτό δημιουργείται κάθε φορά το αρχείο εισόδου in.txt για κάθε τιμή του ημιμήκους ενός μη λεπτού διπόλου,



Σχήμα 6.3 : Η καρτέλα Parameters for self impedance του EvalNTD.

καλείται το ΠΔΑ και τελικά παράγεται το αρχείο εξόδου zout.txt, το οποίο συγκεντρώνει την αντίσταση εισόδου (ιδία αντίσταση) συναρτήσει του ημιμήκους.

- **Geometry**: Με το κουμπί αυτό απεικονίζεται η γεωμετρία της κεραίας σε ξεχωριστό παράθυρο με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης Mayavi.
- **Plot Self Impedance**: Πατώντας το κουμπί αυτό δημιουργούνται τα. διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού διπόλου συναρτήσει του κανονικοποιημένου ημιμήκους του.
- **Clear**: Επαναφορά των διαγραμμάτων στην αρχική τους κατάσταση.
- **Hold**: Αν ενεργοποιηθεί η επιλογή αυτή τα νέα διαγράμματα σχεδιάζονται πάνω στα ήδη υπάρχοντα.
- **Legend Options**: Ανάλογα με τη λεζάντα που θέλουμε να εμφανίζεται στα διαγράμματά μας ενεργοποιούμε τις κατάλληλες επιλογές.

6.5 : Διαδικασία-Βήματα υπολογισμού των ζητούμενων αντιστάσεων

Στην παράγραφο περιγράφουμε αναλυτικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν και τα πεδία που χρειάζεται να συμπληρωθούν, ώστε να γίνεται κάθε φορά υπολογισμός της αμοιβαίας, της ιδίας και της αντίστασης εισόδου.

1. Βήματα υπολογισμού αμοιβαίας αντίστασης.

Στην καρτέλα Parameters:

1. Εισάγουμε στο πεδίο **Number of non thin dipoles** τον αριθμό 2.
2. Συμπληρώνουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη γεωμετρία των διπόλων, όπως την ακτίνα των μη λεπτών διπόλων, τη μεταβολή της ακτίνας των λεπτών συρμάτων και τα γενικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συρμάτων.
3. Επιλέγουμε τη συχνότητα λειτουργίας σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται οι πραγματικές διαστάσεις των δύο διπόλων λ/2.
4. Επιλέγουμε το εύρος τιμών της οριζόντιας απόστασης των δύο μη λεπτών διπόλων στα πεδία του **Distance of non thin dipoles**.
5. Επιλέγουμε τη βαθμίδα υπό την οποία θα βρίσκονται τα δύο δίπολα.
6. Πατάμε το κουμπί **Mutual Impedance Calculation** για να ξεκινήσει η προσομοίωση της διάταξης που έχουμε επιλέξει για τον υπολογισμό της αμοιβαίας αντίστασης.
7. Αν θέλουμε να δούμε τη γεωμετρία της διάταξης που προσομοιώσαμε πατάμε το κουμπί **Geometry**.

Στην καρτέλα Plot:

8. Στο πλαίσιο **Legend Options** επιλέγουμε τα στοιχεία που θέλουμε να εμφανίζονται στη λεζάντα.
9. Πατάμε το κουμπί **Plot Mutual Impedance** για να σχεδιαστούν τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αμοιβαίας αντίστασης.

2. Βήματα υπολογισμού αντίστασης εισόδου.

Στην καρτέλα Parameters:

1. Εισάγουμε στο πεδίο **Number of non thin dipoles** τον αριθμό των μη λεπτών διπόλων.
2. Επιλέγουμε το τροφοδοτούμενο δίπολο στο πεδίο **Active non thin dipole**.
3. Συμπληρώνουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη γεωμετρία των διπόλων, όπως την ακτίνα των μη λεπτών διπόλων, τη μεταβολή της ακτίνας των λεπτών συρμάτων και τα γενικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συρμάτων.
4. Επιλέγουμε το εύρος συχνοτήτων που θα υπολογιστεί η αντίσταση εισόδου στα

πεδία του **For Zinp calculation**.

5. Εισάγουμε στο πεδίο **Distance for Zinp calculation** την απόσταση των μη λεπτών διπόλων.
6. Επιλέγουμε τη βαθμίδα υπό την οποία θα βρίσκονται τα δίπολα.
7. Πατάμε το κουμπί **Calculate Zinp** για να ξεκινήσει η προσομοίωση της διάταξης που έχουμε επιλέξει για τον υπολογισμό της αντίστασης εισόδου.Στο Έβδομο κεφαλαίο
8. Αν θέλουμε να δούμε τη γεωμετρία της διάταξης που προσομοιώσαμε πατάμε το κουμπί **Geometry**.

Στην καρτέλα Plot:

9. Στο πλαίσιο **Legend Options** επιλέγουμε τα στοιχεία που θέλουμε να εμφανίζονται στη λεζάντα.
10. Πατάμε το κουμπί **Plot Zinp** για να σχεδιαστούν τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αντίστασης εισόδου.

3. Βήματα υπολογισμού ιδίας αντίστασης.

Στην καρτέλα Parameters:

1. Εισάγουμε στο πεδίο **Number of non thin dipoles** τον αριθμό 1.
2. Συμπληρώνουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη γεωμετρία του διπόλου, όπως την ακτίνα του, την ακτίνα των λεπτών συρμάτων και τα γενικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συρμάτων. Προσοχή: όλα τα μη λεπτά σύρματα στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να έχουν την ίδια ακτίνα.

Στην καρτέλα Parameters for self impedance:

3. Επιλέγουμε το εύρος τιμών του ημιμήκους του μη λεπτού διπόλου στα πεδία του **Half dipole length**.
4. Επιλέγουμε τη συχνότητα λειτουργίας για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών διαστάσεων του διπόλου.
5. Πατάμε το κουμπί **Self Impedance Calculation** για να ξεκινήσει η προσομοίωση της διάταξης που έχουμε επιλέξει για τον υπολογισμό της ιδίας αντίστασης.
6. Αν θέλουμε να δούμε τη γεωμετρία της διάταξης που προσομοιώσαμε πατάμε το κουμπί **Geometry**.
7. Στο πλαίσιο **Legend Options** επιλέγουμε τα στοιχεία που θέλουμε να εμφανίζονται στη λεζάντα.
8. Πατάμε το κουμπί **Plot Self Impedance** για να σχεδιαστούν τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της ιδίας αντίστασης.

6.6 : Γενική λειτουργία του προγράμματος NTD.

Το πρόγραμμα NTD (Non thin Dipole)) αποτελεί επέκταση του EvalNTD (πρόγραμμα επαλήθευσης) και χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση N ανισοσκελών δίπολων στον χώρο. Σκοπός είναι η εξαγωγή διαγραμμάτων για γενίκευση της μελέτης από μη λεπτά ισοσκελή δίπολα λ/2 σε μη λεπτά ανισοσκελή τύπου V στον χώρο. Το πρόγραμμα αυτό, λοιπόν, μπορεί να εξάγει τα ακόλουθα διαγράμματα.

- Διαγράμματα της ιδίας αντίστασης ($\dot{z}_{11}$) ενός μη λεπτού ανισοσκελές διπόλου ως προς τη συχνότητα, μεταβάλλοντας τα γεωμετρικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του.
- Διαγράμματα αμοιβαίας αντίστασης ($\dot{z}_{12}$) δύο ανισοσκελών δίπολων V ως προς τη συχνότητα, μεταβάλλοντας την απόσταση μεταξύ τους, τη γωνία μεταξύ των σκελών τους, καθώς και άλλες παραμέτρους που αφορούν τη γεωμετρία και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.
- Διαγράμματα αντίστασης εισόδου ($\dot{Z}_{INP}$) N ανισοσκελών διπόλων V ως προς τη συχνότητα για οποιαδήποτε θέση στον χώρο και μεταβολή των γεωμετρικών παραμέτρων τους (γωνία μεταξύ των σκελών τους, μήκη των σκελών τους).

6.7 : Περιγραφή του προγράμματος NTD.

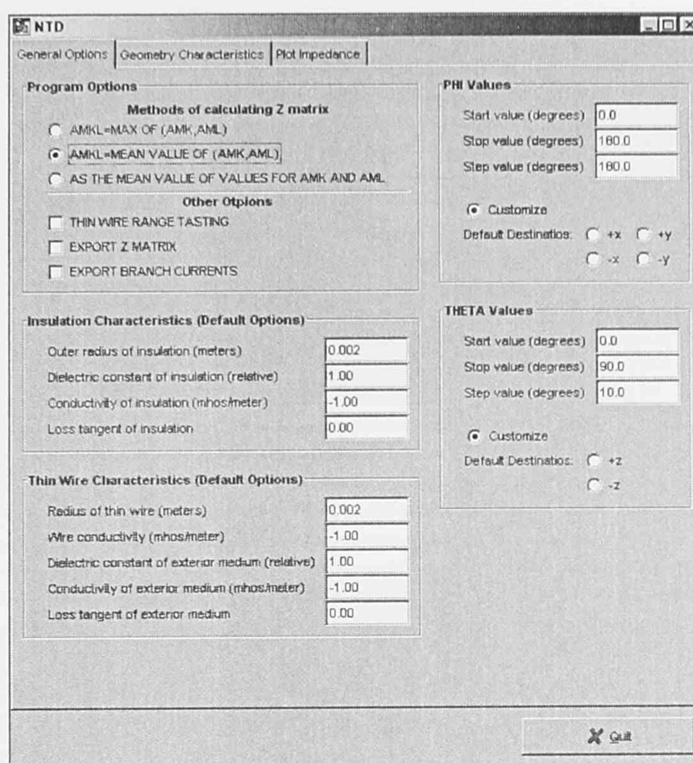
Το πρόγραμμα NTD αποτελείται από τρεις καρτέλες (Tabs), την καρτέλα General Options, την καρτέλα Geometry Characteristics και την καρτέλα Plot impedance.

Καρτέλα General Options

Η καρτέλα General Options που φαίνεται στο Σχήμα 6.4 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα πεδία για τον προσδιορισμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών μη λεπτών ανισοσκελών διπόλων V και λεπτών συρμάτων τα οποία σχηματίζουν τα δίπολα. Τα πεδία αυτά είναι ίδια με εκείνα της καρτέλας Parameters του προγράμματος επαλήθευσης, τα οποία αναλύθηκαν παραπάνω.

Καρτέλα Geometry Characteristics

Η καρτέλα Geometry Characteristics που φαίνεται στο Σχήμα 6.5 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα πεδία και κουμπιά για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών N μη λεπτών ανισοσκελών διπόλων V και τη θέση τους στον χώρο. Για λόγους απλοποίησης θεωρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός των διπόλων αυτών είναι είναι 8. Τα πλαίσια **Non thin dipole characteristics**, **Radius of thin wires** και **For Impedance Calculation** είναι τα ίδια με αυτά της καρτέλας Parameters, τα οποία αναλύθηκαν πα-



Σχήμα 6.4 : Η καρτέλα General Options του NTD.

ραπάνω, ενώ προστίθενται και τα πεδία του πλαισίου **Geometry Characteristics**, μέσω των οποίων καθορίζονται τα μήκη των σκελών των διπόλων (**M1,M2**), η γωνία μεταξύ τους (**Angle**) και η θέση τους στον χώρο (**Translation**, **Rotation**).

Εκτός από τα παραπάνω πεδία η καρτέλα Geometry Characteristics αποτελείται από τα ακόλουθα κουμπιά λειτουργιών:

- **Generate Geometry**: Με το κουμπί αυτό παράγεται η γεωμετρία της διατάξης των ανισοσκελών διπόλων που σχεδιάστηκε καθώς και το αρχείο εισόδου (in.txt) για το πρόγραμμα ΠΔΑ.
- **View Geometry**: Πατώντας το κουμπί αυτό απεικονίζεται η γεωμετρία της διάταξης σε ξεχωριστό παράθυρο με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης Mayavi.
- **Simulate**: Με το κουμπί αυτό καλείται το πρόγραμμα ΠΔΑ για να παράγει μετά από ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση το αρχείο εξόδου zout.txt, το οποίο περιέχει για κάθε συχνότητα την αντίσταση εισόδου, καθώς και το cur.txt, το οποίο συγκεντρώνει τα ρεύματα των τμημάτων συναρτήσει αυτής της συχνότητας.

Καρτέλα Plot Impedance

Η καρτέλα Plot Impedance που φαίνεται στο Σχήμα 6.6 αποτελείται από όλα τα απαραίτητα κουμπιά για τον σχεδιασμό της ιδίας, της αμοιβαίας και της αντίστασης εισόδου

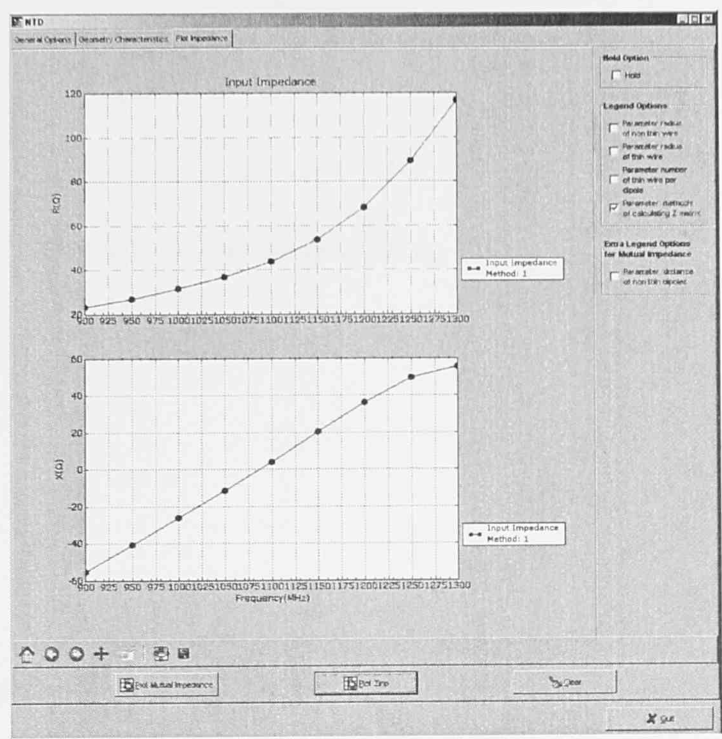
Σχήμα 6.5 : Η καρτέλα Geometry Characteristics του NTD.

συναρτήσει της συχνότητας. Τα αποτελέσματα προκύπτουν μετά από ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση με το προγράμματα ΠΔΑ και Richwire.

Ειδικότερα η καρτέλα Plot Impedance αποτελείται από τα ακόλουθα κουμπιά επιλογής και λειτουργιών:

- **Plot Mutual Impedance**: Πατώντας το κουμπί αυτό δημιουργούνται τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αμοιβαίας αντίστασης δύο μη λεπτών ανισοσκελών διπόλων V συναρτήσει της συχνότητας.
- **Plot Zinp**: Με το κουμπί αυτό δημιουργούνται τα διαγράμματα του πραγματικού και του φανταστικού μέρους της αντίστασης εισόδου οποιουδήποτε αριθμού μη λεπτών ανισοσκελών διπόλων V συναρτήσει της συχνότητας.
- **Clear**: Επαναφορά των διαγραμμάτων στην αρχική τους κατάσταση.
- **Hold**: Αν ενεργοποιηθεί η επιλογή αυτή τα νέα διαγράμματα σχεδιάζονται πάνω στα ήδη υπάρχοντα.
- **Legend Options**: Ανάλογα με τη λεζάντα που θέλουμε να εμφανίζεται στα διαγράμματά μας ενεργοποιούμε τις κατάλληλες επιλογές.
- **Extra Legend Options for Mutual Impedance**: Επιλέγουμε τη λεζάντα αυτή να εμφανίζεται στα διαγράμματά μας μόνο όταν υπολογίζουμε αμοιβαία αντίσταση και μεταβάλλουμε την απόσταση μεταξύ των διπόλων.

Εκτός από τα παραπάνω πεδία και κουμπιά, υπάρχει και το **Quit**, με το οποίο βγαίνουμε



Σχήμα 6.6 : Η καρτέλα Plot Impedance του NTD.

από το πρόγραμμα NTD. Η διαδικασία με την οποία υπολογίζουμε τα μεγέθη είναι παρόμοια με αυτή που περιγράφηκε για το πρόγραμμα EvalNTD.

Κεφάλαιο 7 : Συγκρίσεις επαληθεύσεις.

7.1 : Εισαγωγή.

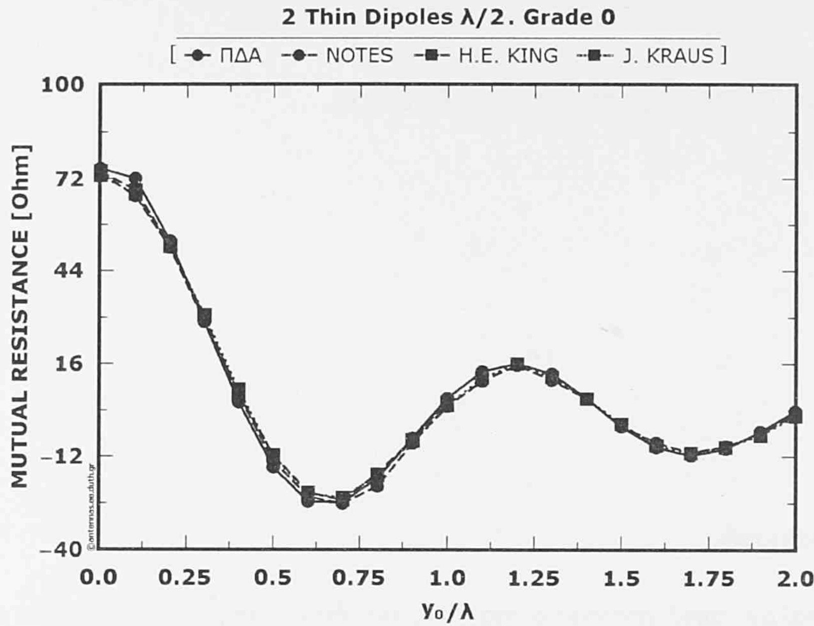
Στο κεφάλαιο αυτό γίνονται συγκρίσεις των δικών μας αποτελεσμάτων που προήλθαν από τα προγράμματα EvalNTD και το NTD και τα οποία χρησιμοποιούν για την ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση το Πρόγραμμα Λεπτού Σύρματος για Διαφορετικές Ακτίνες (Π.Δ.Α.) με αντίστοιχα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας και άλλων προγραμμάτων.

7.2 : Συγκρίσεις αμοιβαίας αντίστασης για λεπτά δίπολα.

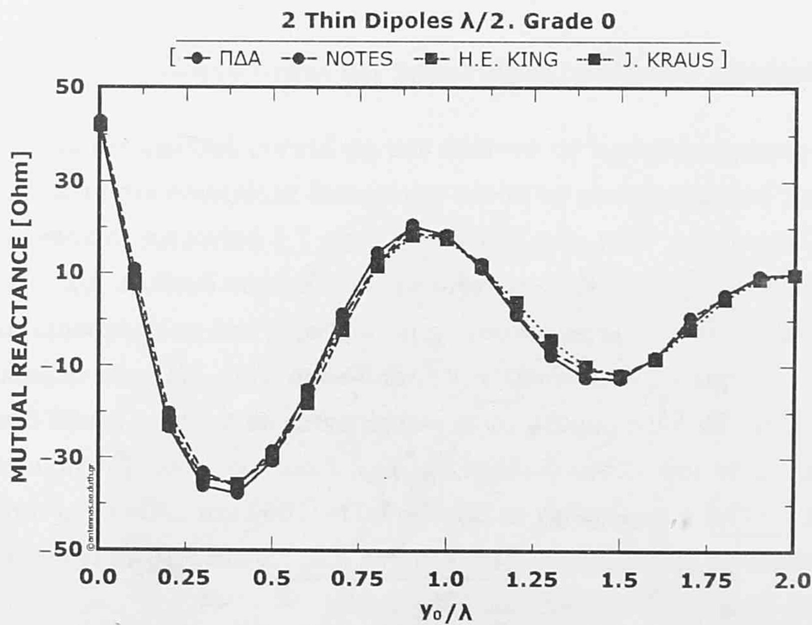
Αρχικά χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο του μη λεπτού διπόλου για λεπτά δίπολα για να δούμε πως συμπεριφέρεται σε αυτήν την οριακή περίπτωση και αν πλησιάζει τις τιμές της βιβλιογραφίας. Έτσι, στα Σχήματα 7.1 και 7.2 φαίνονται το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0 ως προς την κανονικοποιημένη απόσταση μεταξύ τους από το πρόγραμμά μας, τις σημειώσεις του μαθήματος Κεραιών II, την εργασία του King, [41], και το βιβλίο κεραιών του Kraus, [33]. Τα διαγράμματα αυτά αναφέρονται σε απείρως λεπτά δίπολα λ/2 με L/D=∞, όπου L το μήκος του διπόλου και D η διάμετρός του. Τα επόμενα σχήματα, 7.3, 7.4 και 7.5, 7.6 αναφέρονται σε λόγους L/D=11000 και L/D=73 αντίστοιχα. Ακολουθούν αντίστοιχα διαγράμματα, Σχήματα 7.7, 7.8, 7.9 και 7.10 τα οποία αναφέρονται σε δύο λεπτά δίπολα λ/2 υπό βαθμίδα λ/4 και λ/2.

Για τα παραπάνω διαγράμματα το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για το δίπολο αποτελείται από 4 λεπτά σύρματα με ακτίνα 0.004mm. Η ακτίνα του διπόλου στην περίπτωση που L/D=73 είναι 3.4mm, στην περίπτωση που L/D=11000 είναι 0.023mm, ενώ στην περίπτωση που L/D=∞ για να προσεγγίσουμε το άπειρο χρησιμοποιούμε μια αρκετά μι-

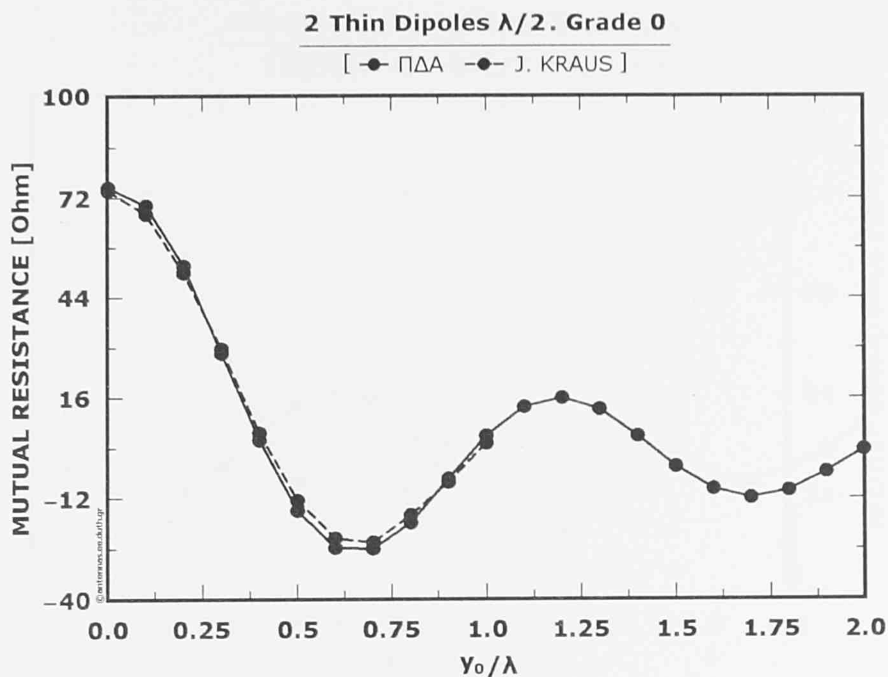
κρή τιμή ακτίνας 0.011mm. Σε κάθε περίπτωση έχουμε μεριμνήσει ώστε πληρούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί.



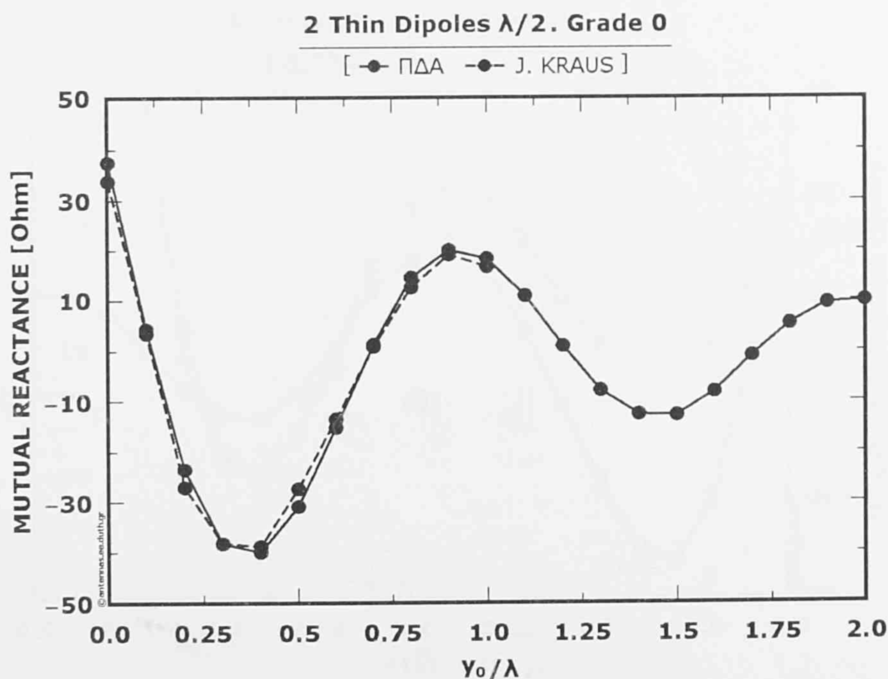
Σχήμα 7.1 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο απείρως λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ.



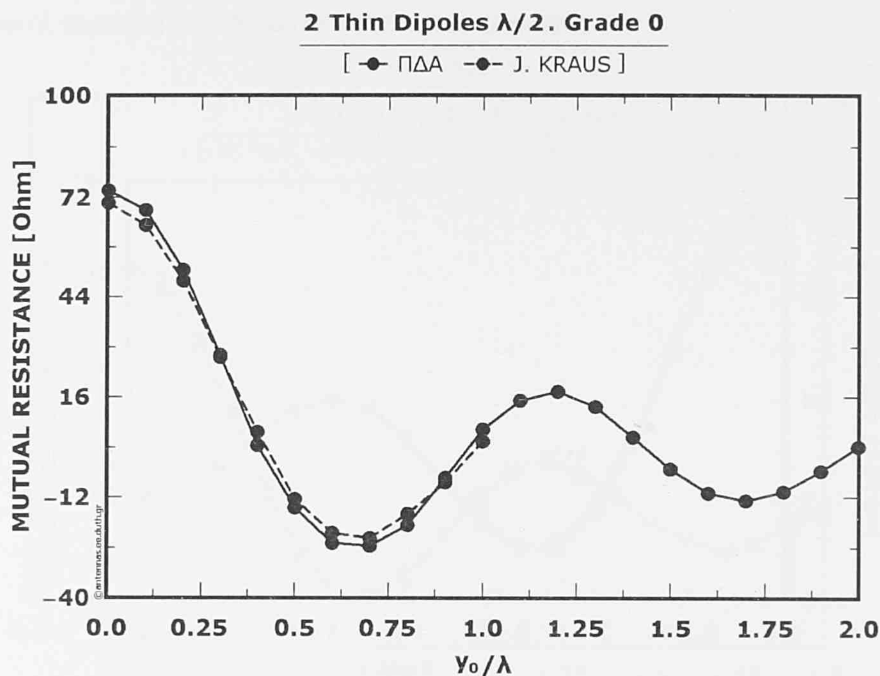
Σχήμα 7.2 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο απείρως λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ.



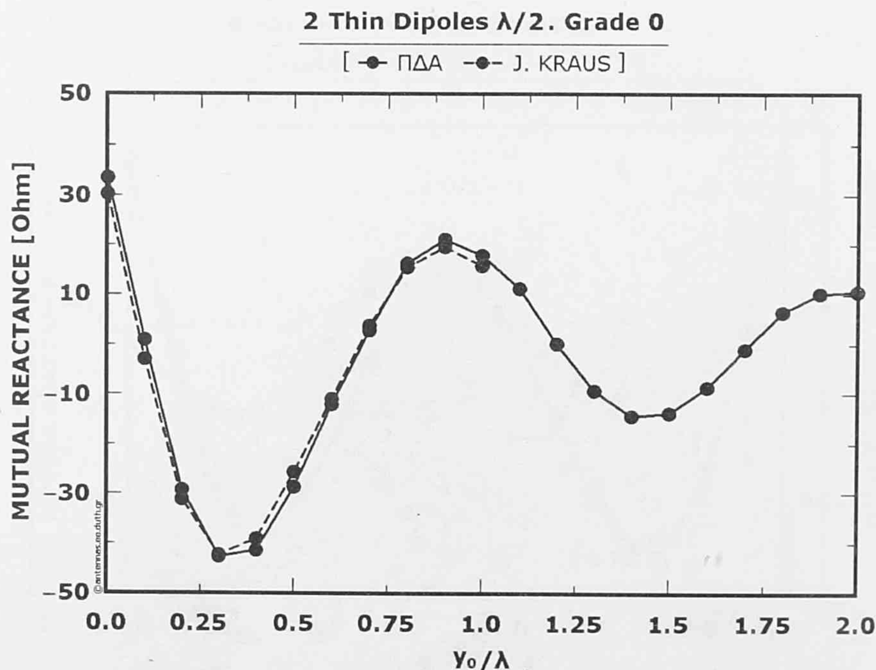
Σχήμα 7.3 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 με L/D=11000 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ.



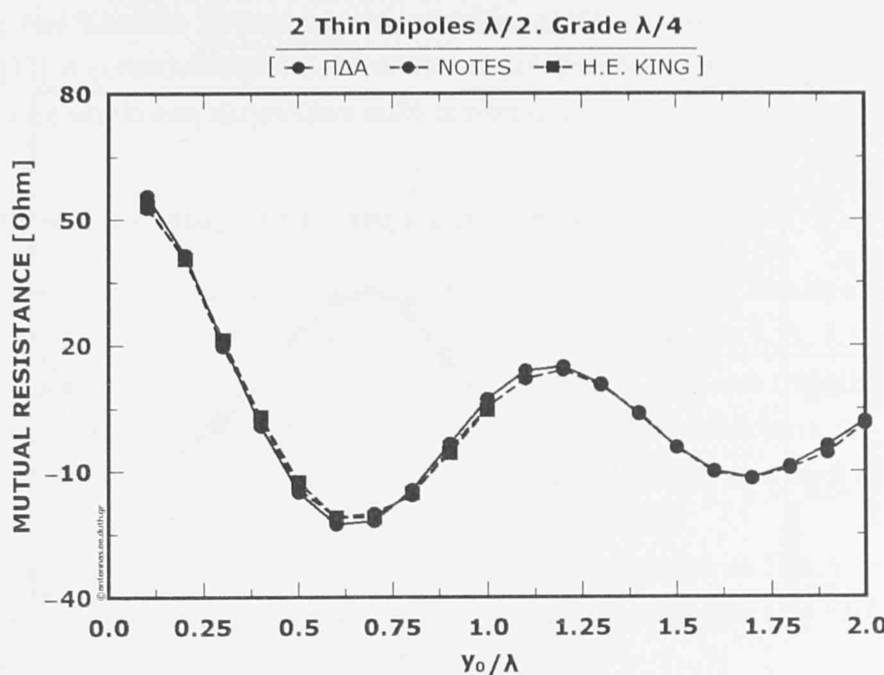
Σχήμα 7.4 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 με L/D=11000 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ.



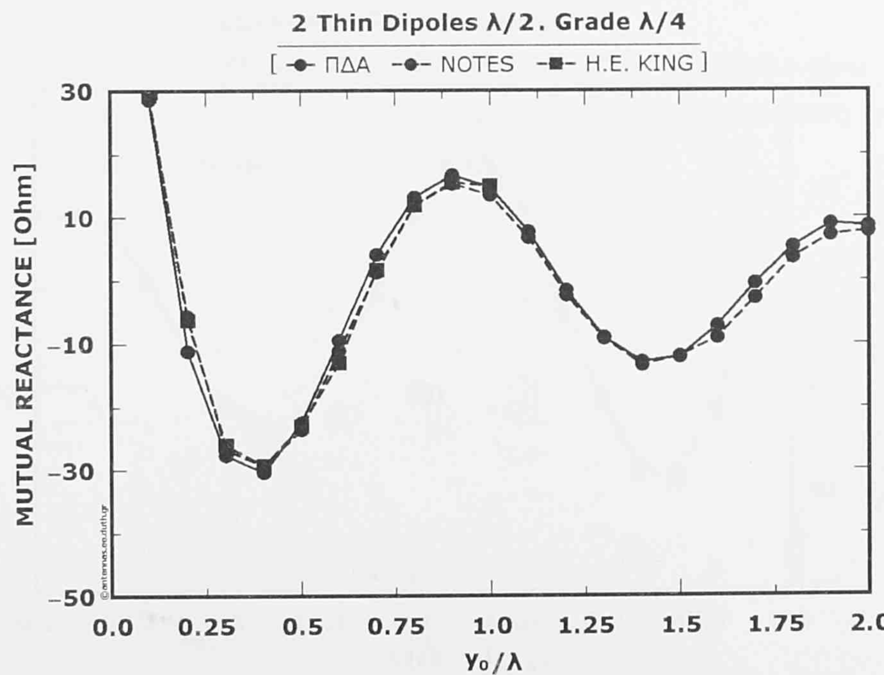
Σχήμα 7.5 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 με L/D=73 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του $y_0/λ$.



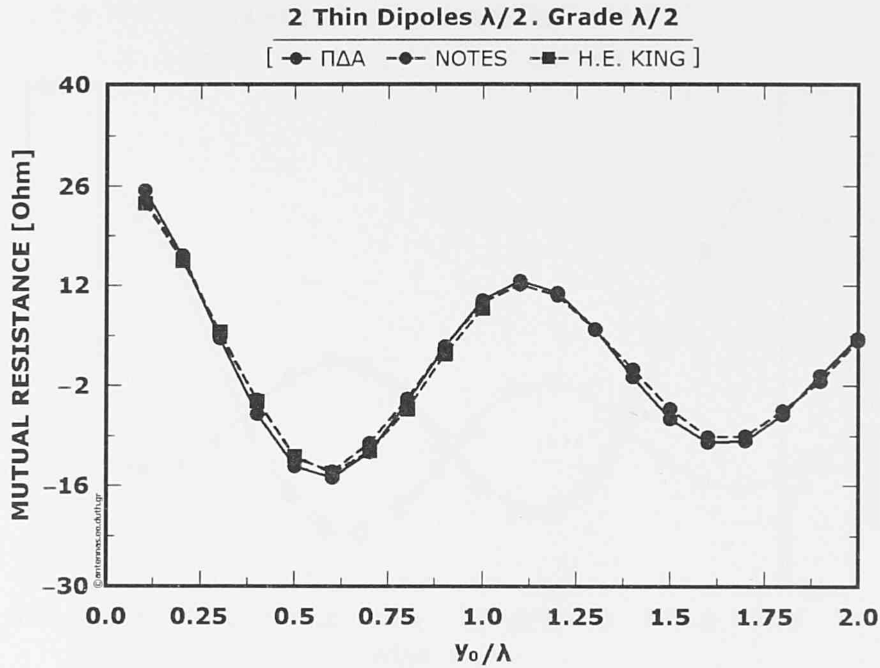
Σχήμα 7.6 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 με L/D=73 υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του $y_0/λ$.



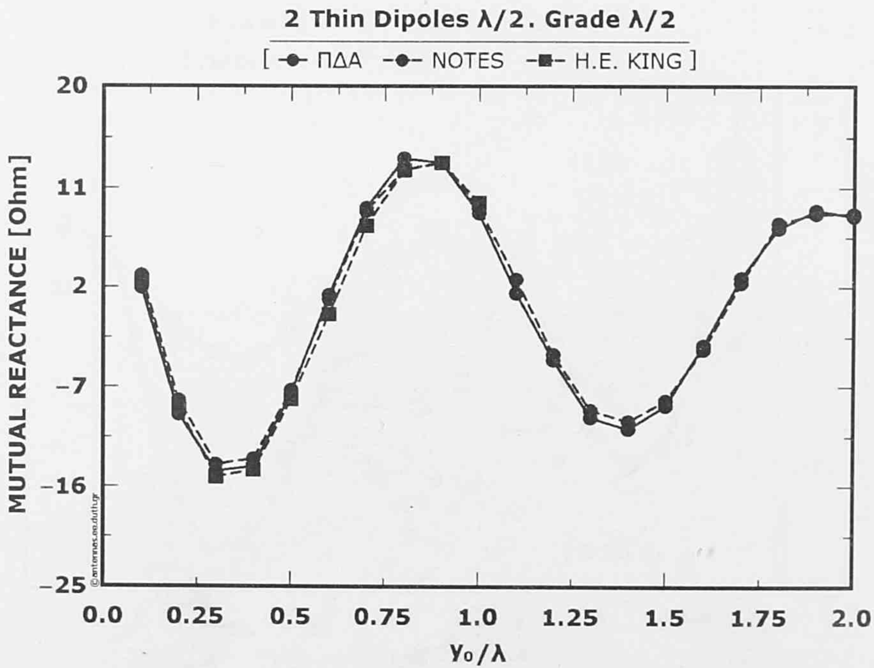
Σχήμα 7.7 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ.



Σχήμα 7.8 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ.



Σχήμα 7.9 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ.



Σχήμα 7.10 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι οι τιμές των σημειώσεων του μαθήματος των Κεραιών ΙΙ, της εργασίας του King, [41], και του βιβλίου κεραιών του Kraus, [33] συμπίπτουν σχεδόν απόλυτα, ενώ οι τιμές για το δικό μας μοντέλο στην οριακή αυτή περίπτωση πλησιάζουν πολύ ικανοποιητικά τις παραπάνω τιμές.

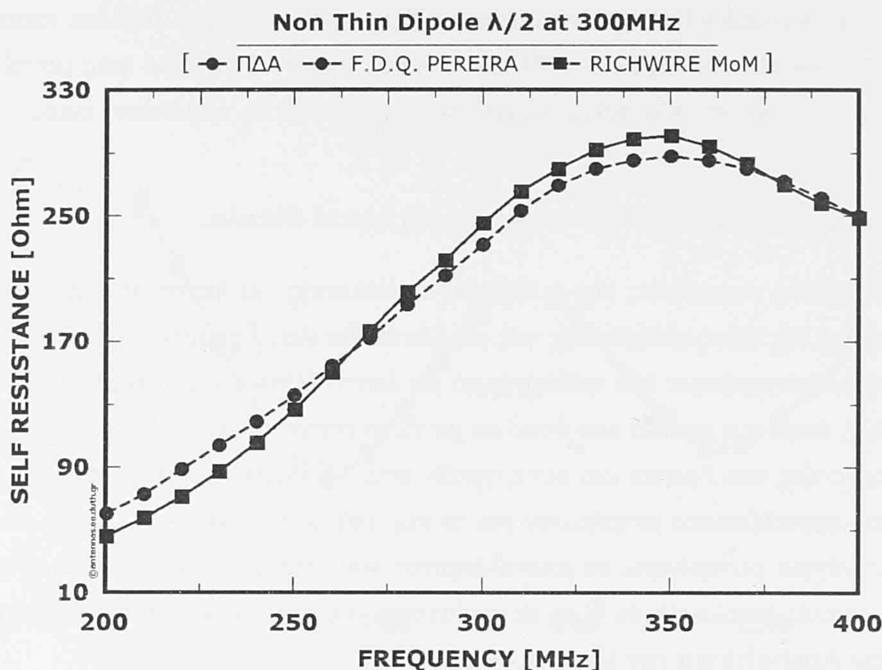
7.3 : Συγκρίσεις ιδίας αντίστασης για μη λεπτά δίπολα.

Μετά από τις συγκρίσεις της αμοιβαίας αντίστασης για λεπτά δίπολα ακολουθούν οι συγκρίσεις της ιδίας αντίστασης για μη λεπτά δίπολα, Σχήματα 7.11, 7.12, 7.13 και 7.14. Αρχικά συγκρίναμε ένα ευθύγραμμο μη λεπτό δίπολο λ/2 στα 300MHz με λόγο α/λ=0.0509, όπου α η ακτίνα του διπόλου με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του Richwire και της εργασίας του Pereira και συνεργατών του, [42]. Στην εργασία αυτή παρέχονται επίσης και αποτελέσματα μετρήσεων για το παραπάνω δίπολο.

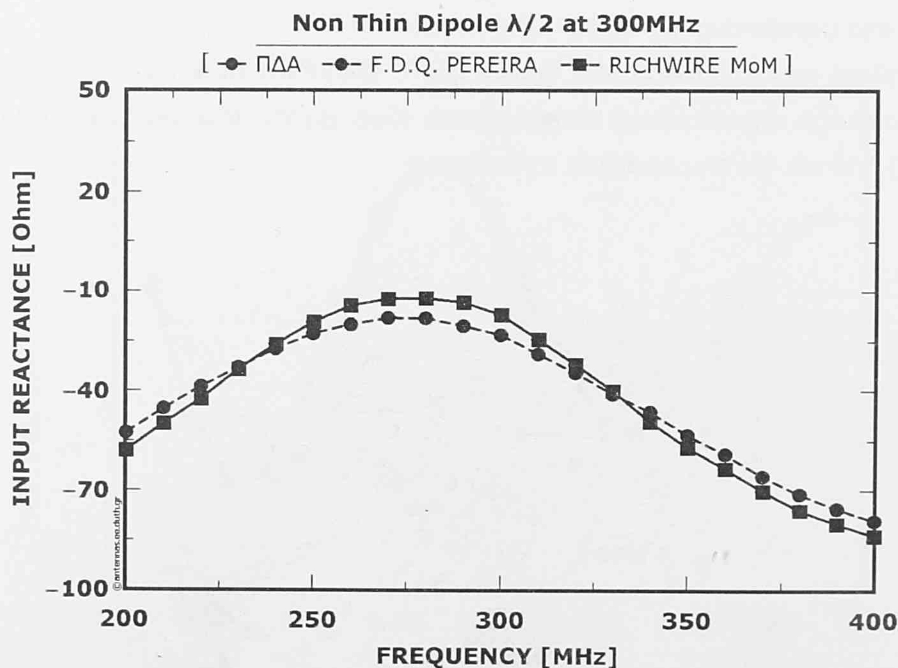
Στη συνέχεια συγκρίναμε τα αποτελέσματα που πήραμε από το Π.Δ.Α. για ένα μη λεπτό ισοσκελές δίπολο τύπου V με τα αντίστοιχα του προγράμματος MMANA (Method of Moment Analysis) για την ίδια γεωμετρία, [43].

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με αυτά του Pereira και των συνεργατών του, [42], η συμπεριφορά τόσο του πραγματικού όσο και του φανταστικού μέρους της ιδίας αντίστασης είναι όμοια. Σε αρκετές συχνότητες οι τιμές ταυτίζονται ενώ σε άλλες υπάρχουν μικρές διαφορές. Όσον αφορά τη σύγκριση με τα αποτελέσματα του MMANA έχουμε μεγαλύτερη ταύτιση τόσο στο πραγματικό όσο και στο φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης.

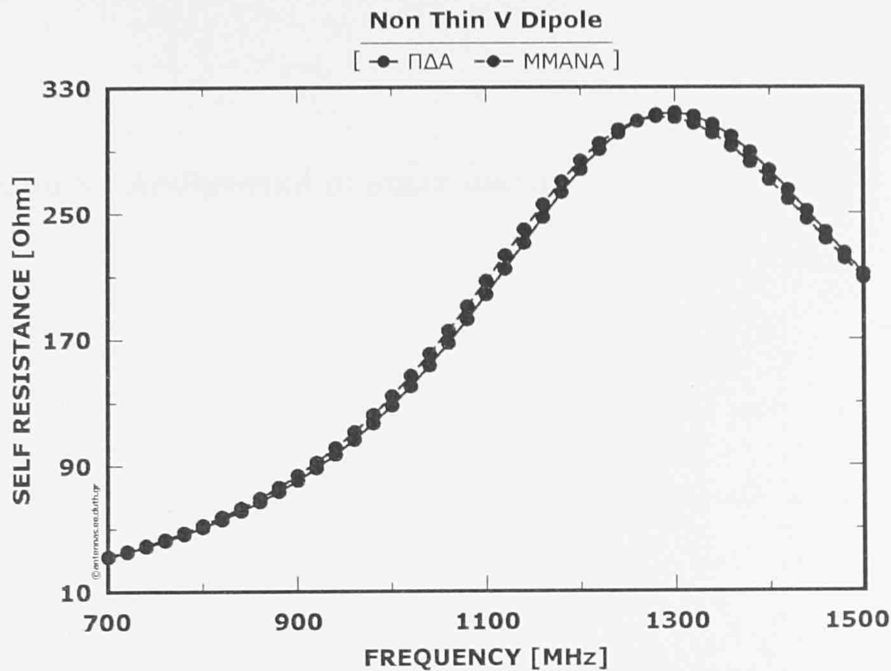
Ως τελικό συμπέρασμα λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι το μοντέλο είναι αξιόπιστο και παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο για την ιδία αντίσταση (αντίσταση εισόδου) όσο και για την αμοιβαία αντίσταση.



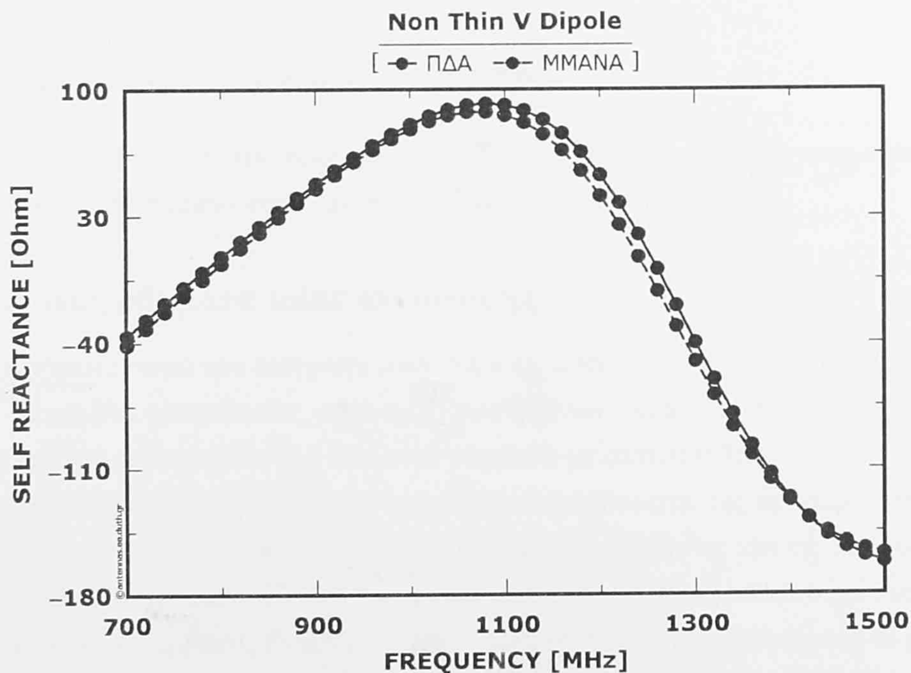
Σχήμα 7.11 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού ευθύγραμμου λ/2 στα 300MHz συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 7.12 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού ευθύγραμμου λ/2 στα 300MHz συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 7.13 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού διπόλου τύπου V συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 7.14 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης ενός μη λεπτού διπόλου τύπου V συναρτήσει της συχνότητας.

Κεφάλαιο 8 : Αριθμητικά αποτελέσματα.

8.1 : Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν. Τα διαγράμματα προέρχονται από τα δύο προγράμματα που αναπτύξαμε, το EvalNTD και το NTD. Τα διαγράμματα αφορούν συγκεκριμένα την ιδία αντίσταση ενός διπόλου, την αμοιβαία αντίσταση δύο διπόλων και την αντίσταση εισόδου για οποιοδήποτε αριθμό διπόλων.

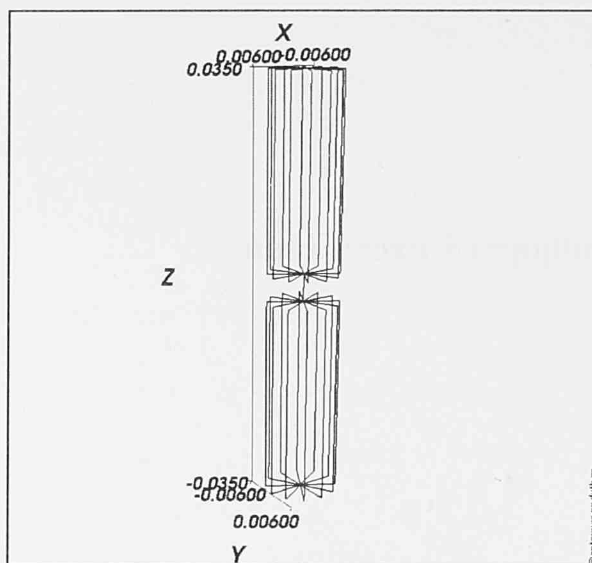
8.2 : Διαγράμματα προγράμματος EvalNTD.

Όλα τα διαγράμματα του προγράμματος EvalNTD αφορούν ευθύγραμμα ισοσκελή μη λεπτά δίπολα τα οποία είναι προσανατολισμένα κατά τον άξονα z.

8.2.1 : Διαγράμματα ιδίας αντίστασης

Για τον υπολογισμό των διαγραμμάτων της ιδίας αντίστασης θεωρήσαμε ένα μη λεπτό δίπολο με σημείο τροφοδοσίας στην αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1. Το δίπολο αυτό αποτελείται από 12 λεπτά σύρματα με ακτίνα 0.9mm.

Η πρώτη σύγκριση που κάνουμε αφορά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ενός μη λεπτού διπόλου από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire και τις καμπύλες των σημειώσεων. Στα Σχήματα 8.3, 8.4 η καμπύλη με συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του προγράμματος EvalNTD για ένα λεπτό δίπολο χρησιμοποιώντας το μοντέλο μας με λόγο $\alpha/\lambda=0.0035$ (α η ακτίνα του διπόλου και λ το μήκος κύματος στη συχνότητα αναφοράς). Η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή και τετράγωνα αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του Richwire για το ίδιο δίπολο, ενώ η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή στις σημειώσεις για δίπολα με το ίδιο λόγο α/λ, [5]. Στα Σχήματα 8.3, 8.4 οι καμπύλες



Σχήμα 8.1 : Μη λεπτό δίπολο.

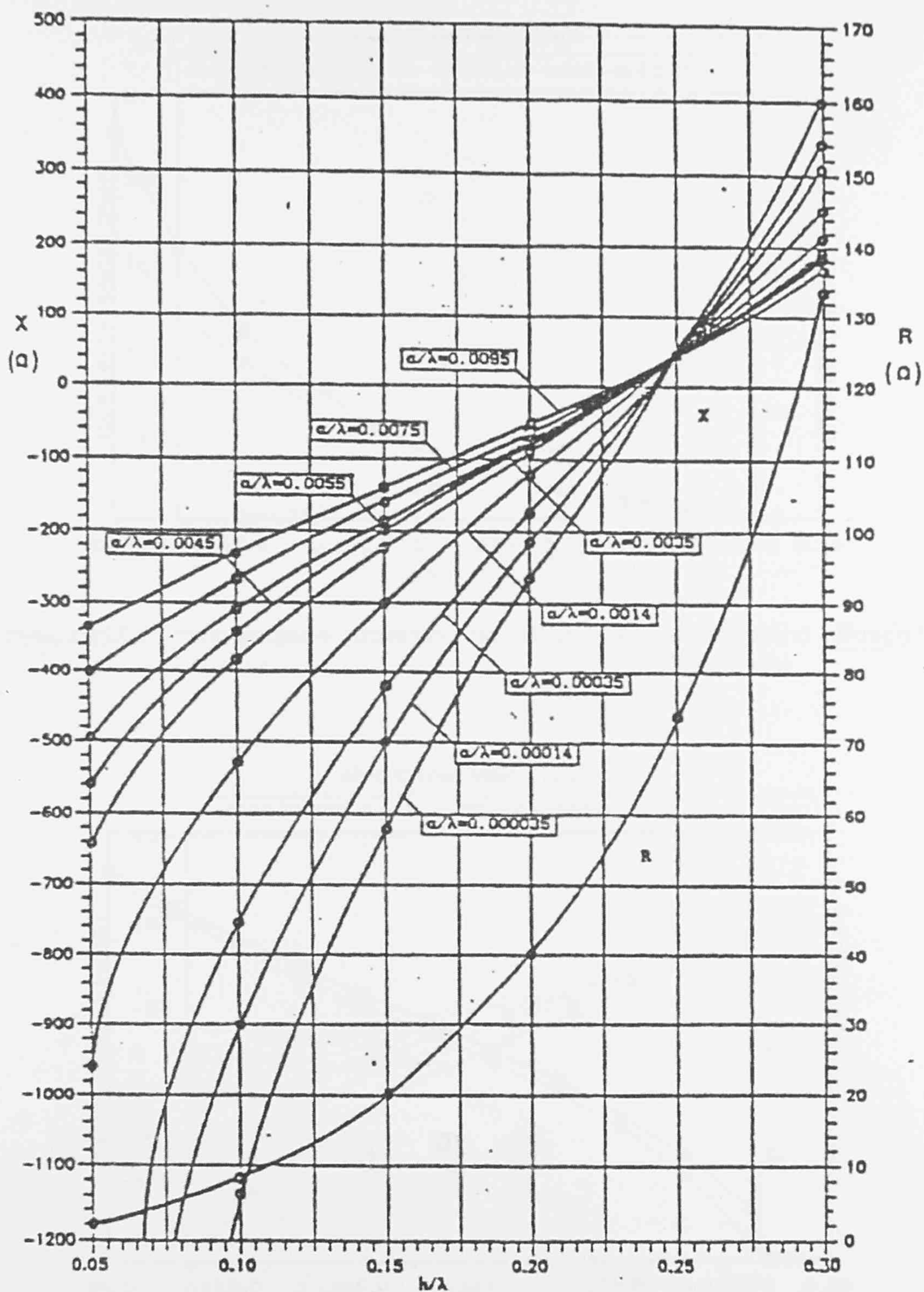
από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire ταυτίζονται, ενώ σε σχέση με αυτές των σημειώσεων έχουν μικρές αποκλίσεις.

Στα διαγράμματα των Σχημάτων 8.5, 8.6 φαίνονται αντίστοιχα το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του κανονικοποιημένου ημιμήκους (h/λ) του διπόλου για διάφορες τιμές του λόγου α/λ, όπου α η ακτίνα του διπόλου και λ το μήκος κύματος στη συχνότητα αναφοράς.

Στα σχήματα αυτά επιλέξαμε τους συγκεκριμένους λόγους α/λ ώστε το δίπολο να είναι σχετικά λεπτό και να είναι δυνατή η σύγκριση με το αντίστοιχο διάγραμμα των σημειώσεων, [5] που αναφέρεται σε λεπτά σύρματα, Σχήμα 8.2.

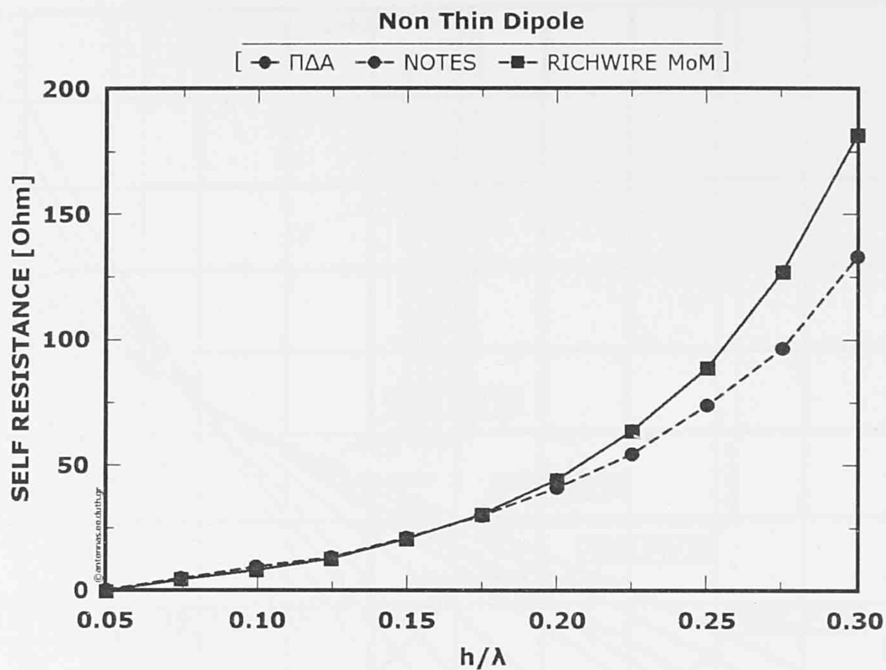
Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των Σχημάτων 8.5, 8.6 φαίνεται ότι το φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης έχει την ίδια συμπεριφορά με το αντίστοιχο των σημειώσεων. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι καμπύλες τέμνονται στο σημείο που αντιστοιχεί σε μήκος διπόλου λ/2. Το φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου στο σημείο αυτό έχει τιμή 68.75Ω. Το πραγματικό μέρος φαίνεται να είναι σχεδόν ανεξάρτητο από τη μεταβολή του λόγου α/λ, ιδιαίτερα για μικρές τιμές αυτού, και όμοιο με αυτό των σημειώσεων. Η τιμή του πραγματικού μέρους που αντιστοιχεί σε δίπολο λ/2 κυμαίνεται περίπου από 78 έως 95 για τους διάφορους λόγους α/λ.

Στα διαγράμματα των Σχημάτων 8.7, 8.8 φαίνονται αντίστοιχα το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του κανονικοποιημένου ημιμήκους (h/λ) του διπόλου για διάφορες τιμές α/λ, οι οποίες είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές του προηγούμενου διαγράμματος ώστε να καλύψουμε ακόμη πιο "παχιά" δίπολα. Από τα σχήματα αυτά φαίνεται ότι η συμπεριφορά για το φανταστικό μέρος διατηρείται ίδια, αλλά μετατοπίζεται το σημείο στο οποίο τέμνονται όλες οι καμπύλες σε χαμηλότερη τιμή

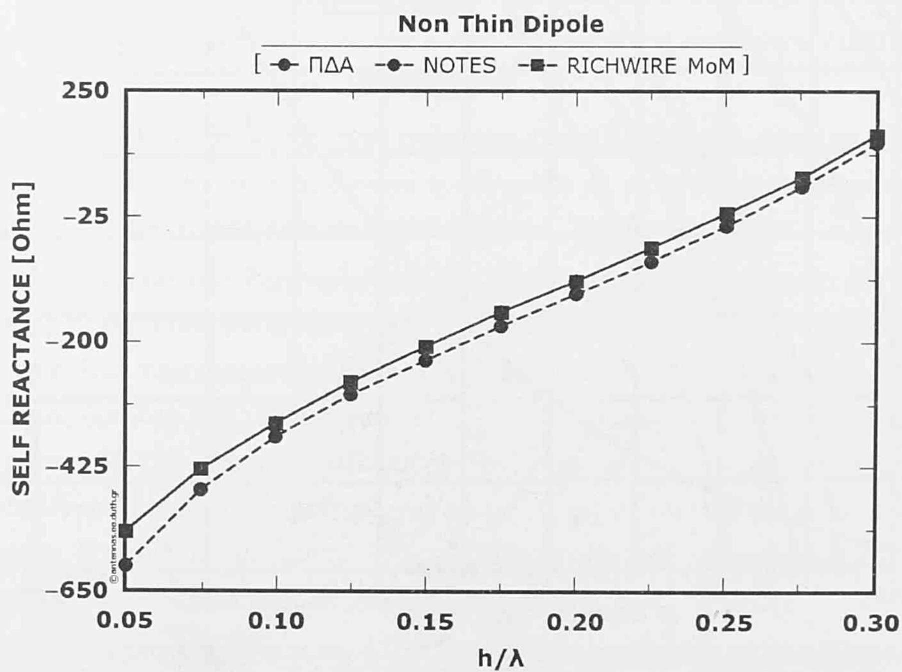


Σχήμα 8.2 : Σύνθετη αντίσταση εισόδου διπόλου L=2h, [5].

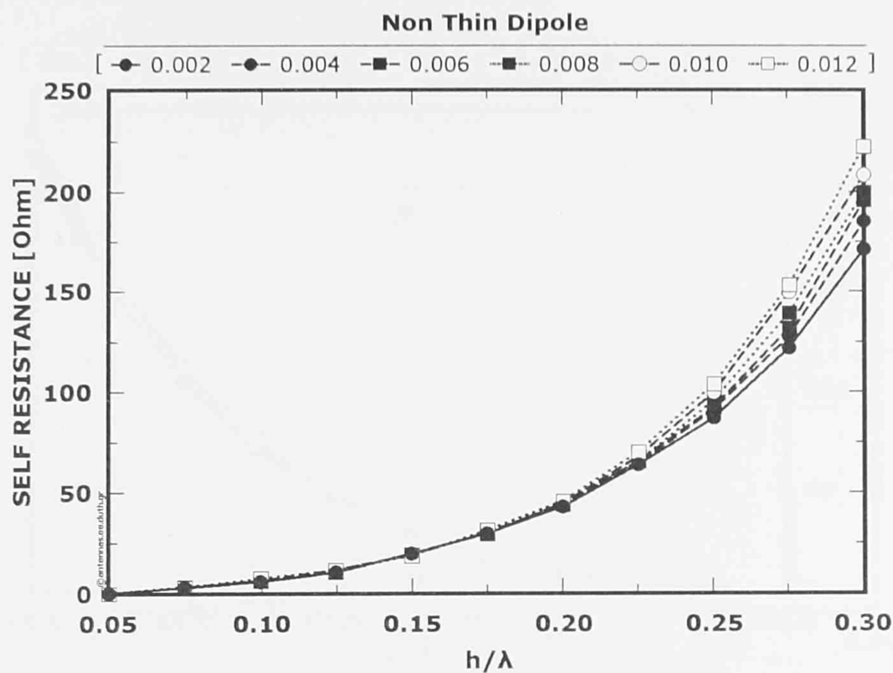
που αντιστοιχεί σε δίπολο μήκους μικρότερου από λ/2, κάτι που ήταν αναμενόμενο.



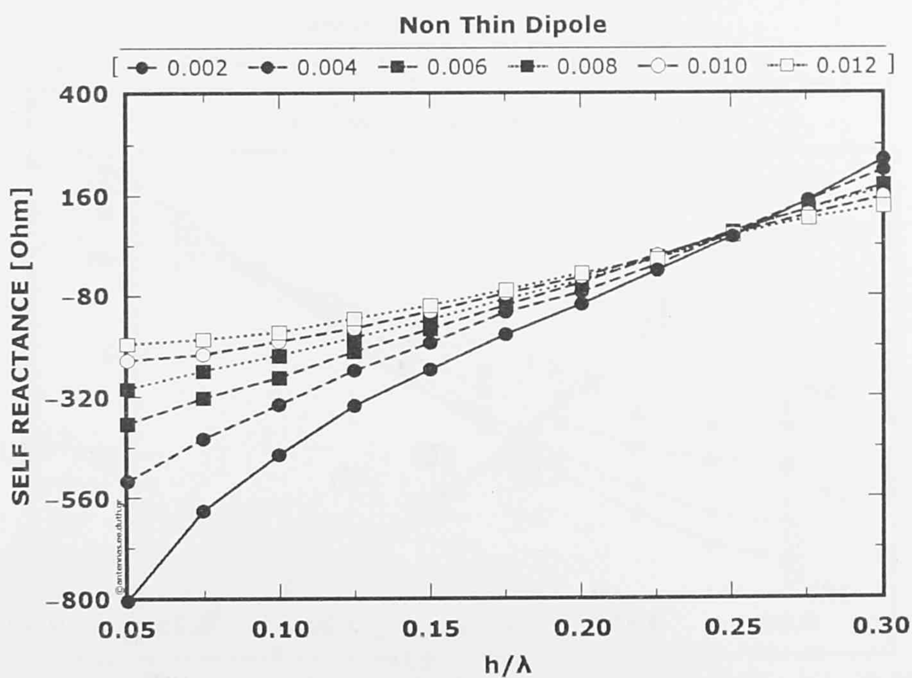
Σχήμα 8.3 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγο α/λ=0.0035.



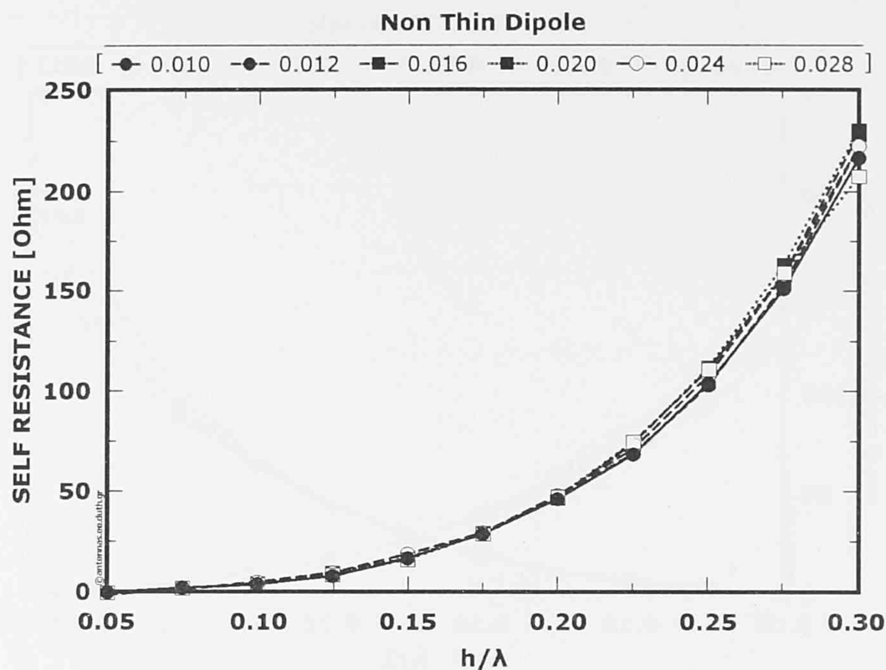
Σχήμα 8.4 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγο α/λ=0.0035.



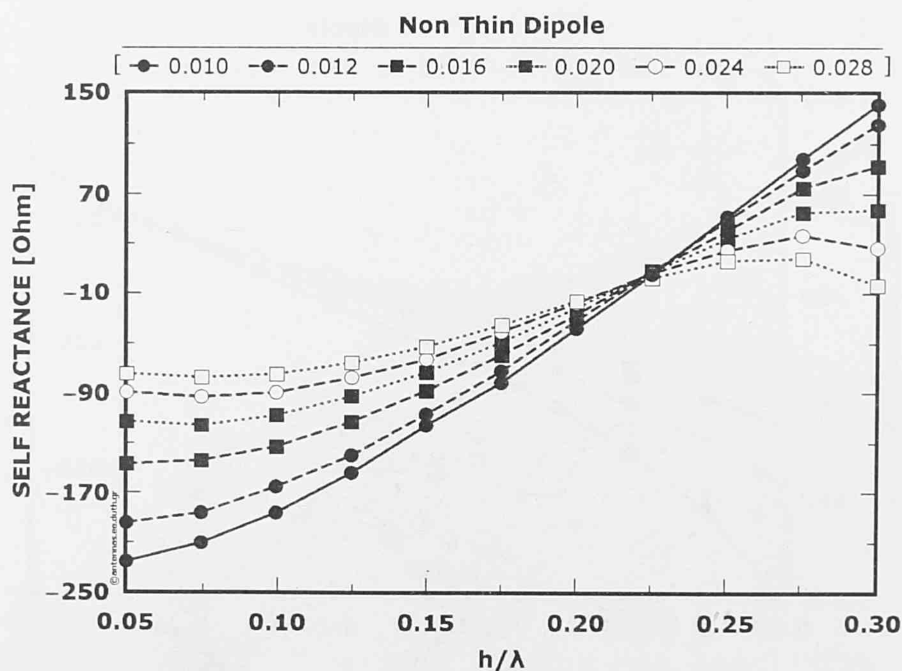
Σχήμα 8.5 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγους α/λ από 0.002 έως 0.012.



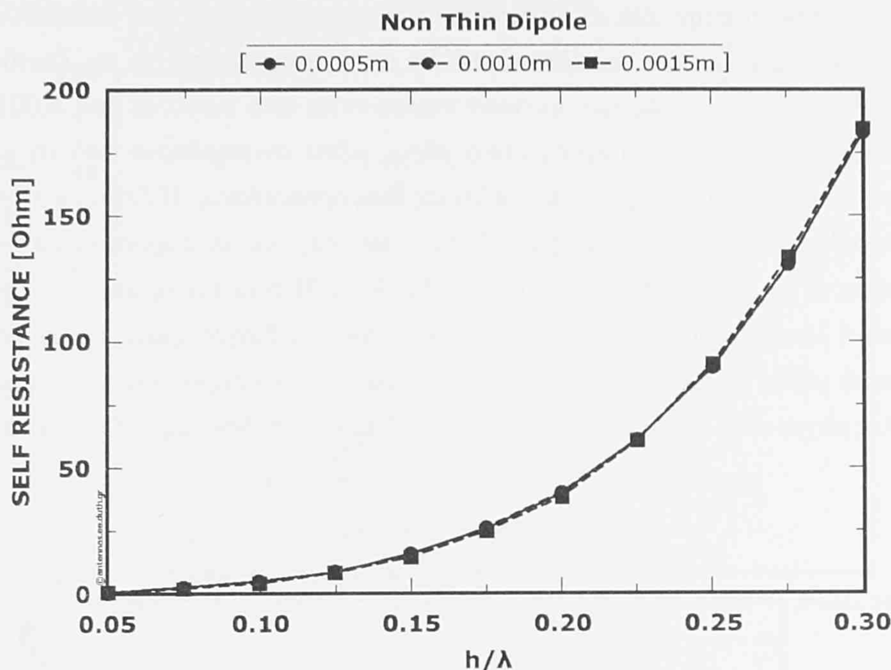
Σχήμα 8.6 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγους α/λ από 0.002 έως 0.012.



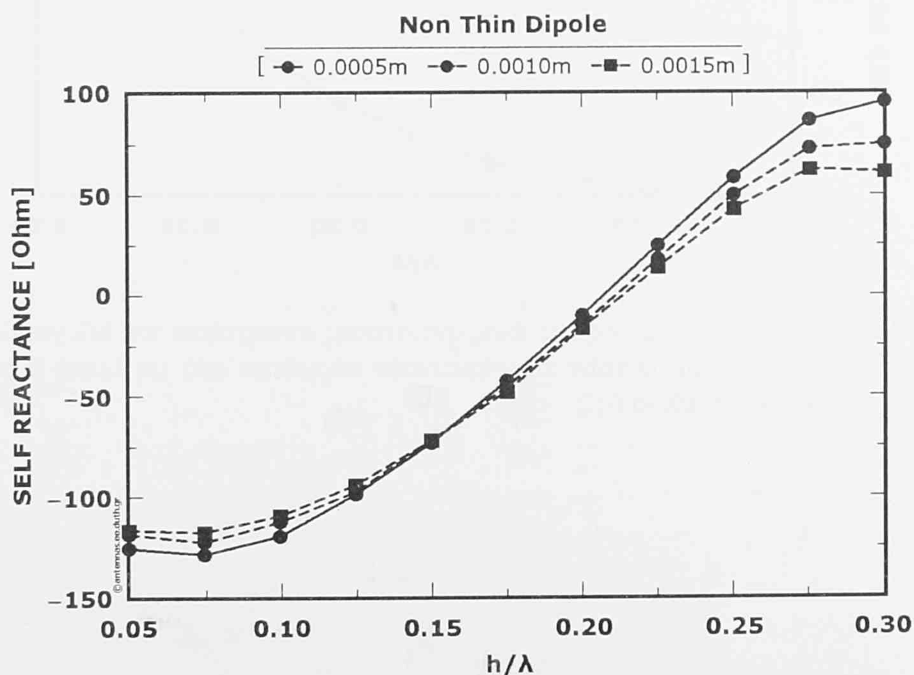
Σχήμα 8.7 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγους α/λ από 0.010 έως 0.028.



Σχήμα 8.8 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για λόγους α/λ από 0.010 έως 0.028.

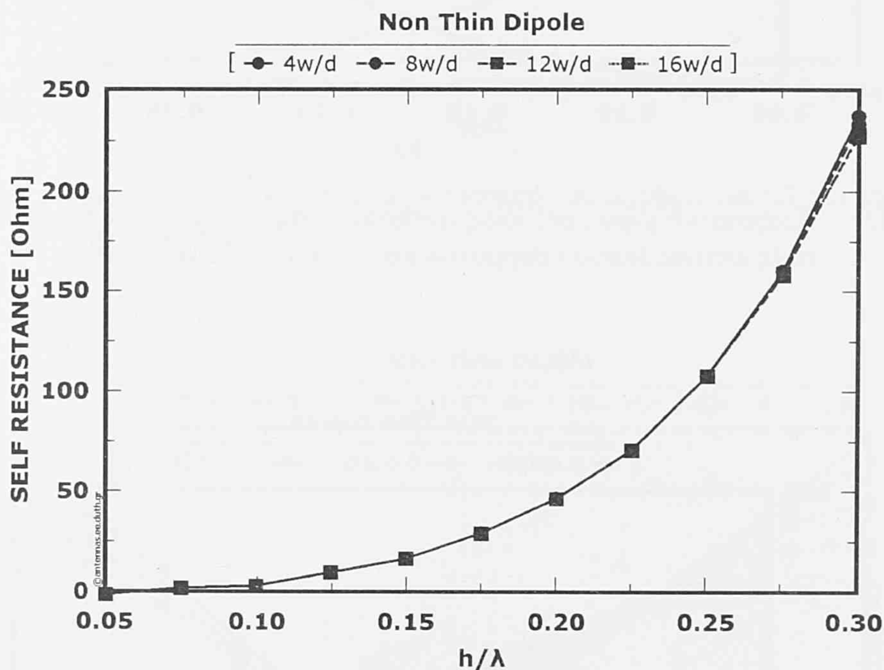


Σχήμα 8.9 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=α/λ=0.012.

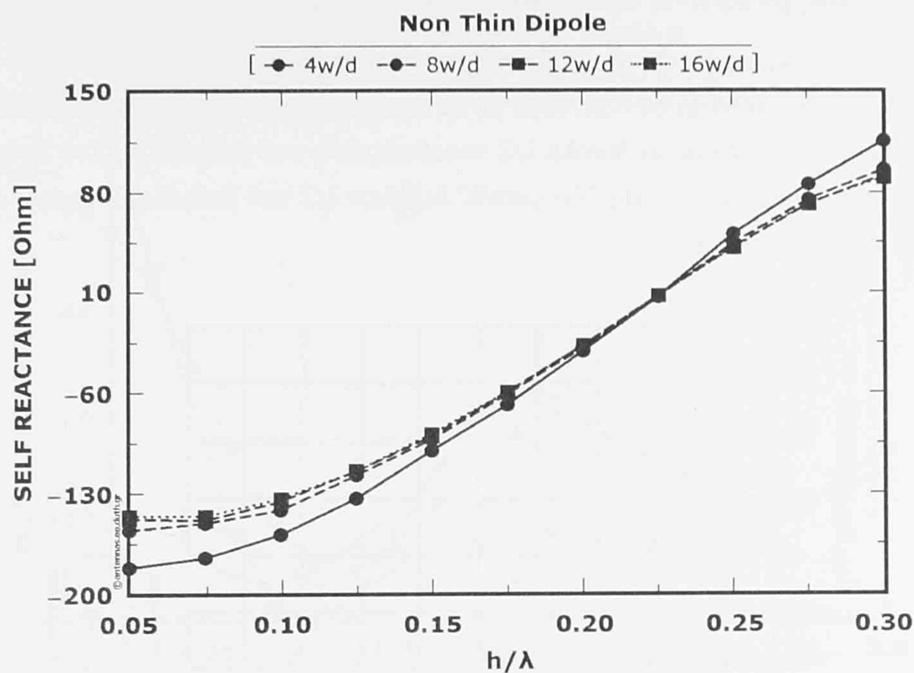


Σχήμα 8.10 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=α/λ=0.012.

Στη συνέχεια μελετάμε την επίδραση κάποιων χαρακτηριστικών του μοντέλου του μη λεπτού διπόλου στην ιδία αντίσταση. Η πρώτη παράμετρος που μεταβάλλουμε είναι οι ακτίνες των λεπτών συρμάτων από τα οποία αποτελείται το μη λεπτό δίπολο, Σχήματα 8.9, 8.10. Οι τιμές των ακτίνων κυμαίνονται από 0.0005m έως 0.0015m ανά 0.0005m. Όπως φαίνεται το πραγματικό μέρος μένει ανεπηρέαστο από τη μεταβολή αυτή, ενώ το φανταστικό παρουσιάζει κάποιες διαφοροποιήσεις. Η δεύτερη παράμετρος που μεταβάλλουμε είναι ο αριθμός των λεπτών περιφερειακών συρμάτων από τα οποία αποτελείται το μη λεπτό δίπολο, Σχήματα 8.11, 8.12. Η τιμή του αριθμού αυτού κυμαίνεται από 4 λεπτά σύρματα έως 16 με βήμα 4. Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι το πραγματικό μέρος μένει ανεπηρέαστο, ενώ το φανταστικό παρουσιάζει κάποιες μικρές μεταβολές μέχρι τα 8 λεπτά σύρματα και από 12 και πάνω δεν εμφανίζει καμιά αλλαγή.



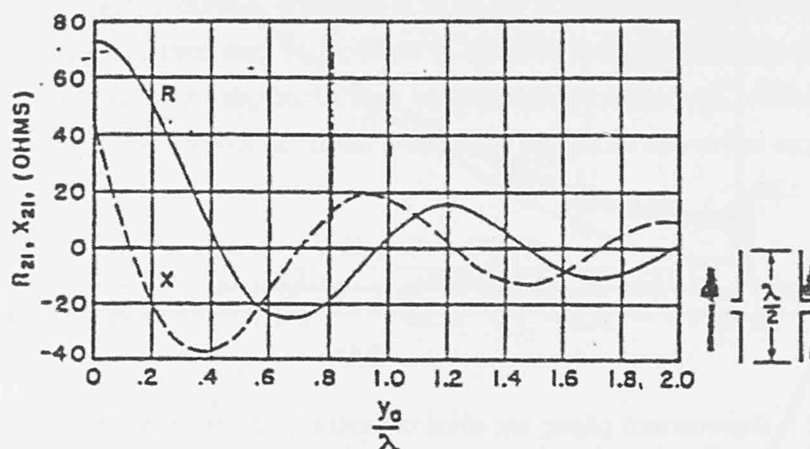
Σχήμα 8.11 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.12 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει του h/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.

8.2.2 : Διαγράμματα αμοιβαίας αντίστασης.

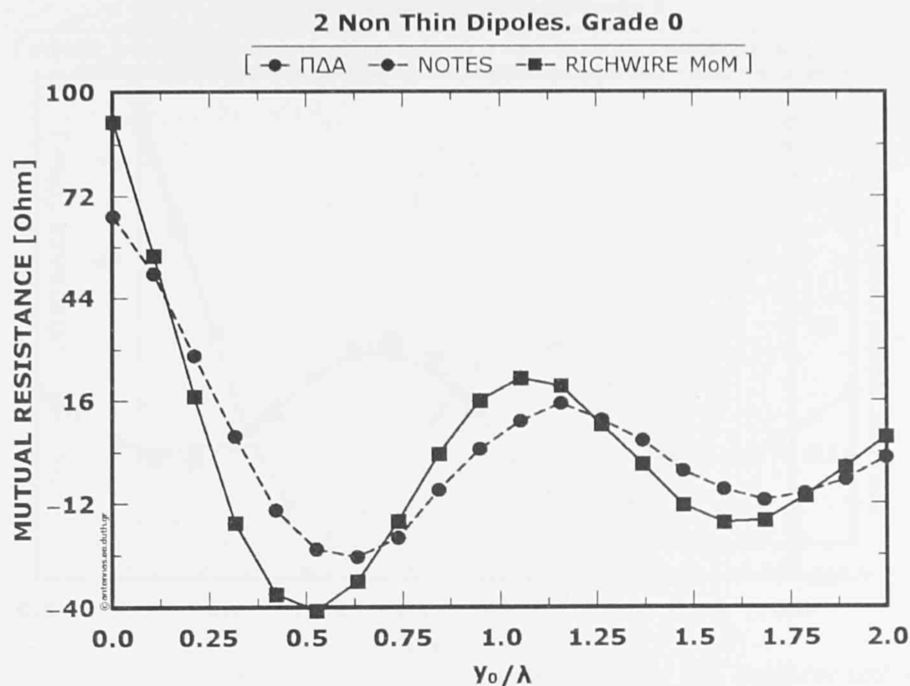
Σκοπός μας είναι να εξάγουμε διαγράμματα αμοιβαίας αντίστασης μεταξύ δύο μη λεπτών διπόλων και να τα συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα των σημειώσεων, [5]. Η πρώτη ομάδα διαγραμμάτων αφορά δίπολα λ/2 τοποθετημένα υπό βαθμίδα 0. Στο Σχήμα 8.13 φαίνεται η αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0 σύμφωνα με τις σημειώσεις των κεραιών.



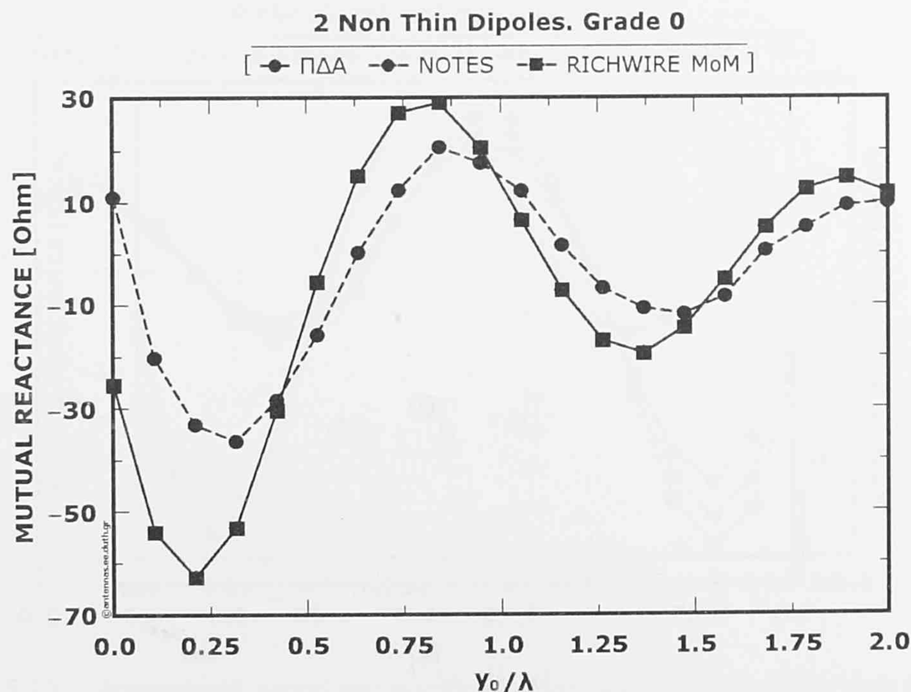
Σχήμα 8.13 : Αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0, (σημειώσεις κεραιών Δ.Π.Θ., [5].

Η πρώτη σύγκριση που κάνουμε αφορά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δύο μη λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα 0 από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire και τις καμπύλες των σημειώσεων. Στα Σχήματα 8.14, 8.15 η καμπύλη με συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του προγράμματος EvalNTD για δύο μη λεπτά δίπολα με ακτίνα α=0.006m στα 600MHz (α/λ=0.012) και αριθμό συρμάτων 12. Η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή και τετράγωνα αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του Richwire για την ίδια γεωμετρία, ενώ η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή στο διάγραμμα των σημειώσεων για δύο λεπτά δίπολα υπό την ίδια βαθμίδα. Στα Σχήματα 8.14, 8.15 οι καμπύλες από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire ταυτίζονται. Σε σχέση με αυτή των σημειώσεων παρατηρούμε ότι υπάρχει μετατόπιση των μεγίστων και ελαχίστων προς μικρότερες τιμές της κανονικοποιημένης απόστασης μεταξύ τους (y_0/λ).

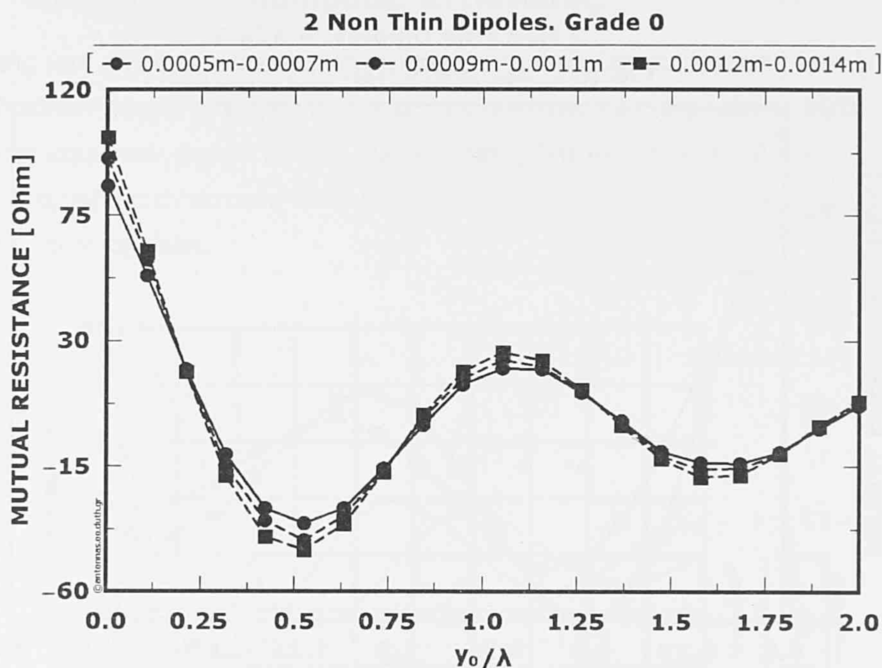
Στα Σχήματα 8.16, 8.17 φαίνονται το πραγματικό και φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει της κανονικοποιημένης απόστασης μεταξύ τους (y_0/λ). Τα διαγράμματα προκύπτουν για διαφορετικές τιμές του εύρους των ακτίνων των λεπτών συρμάτων. Συγκεκριμένα, για 0.0005-0.0007m, 0.0009-0.0011m και 0.00112-0.0014m. Παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά της αμοιβαίας αντίστασης είναι παρόμοια τόσο για το πραγματικό όσο και το φανταστικό της μέρος με αυτή των σημειώσεων.



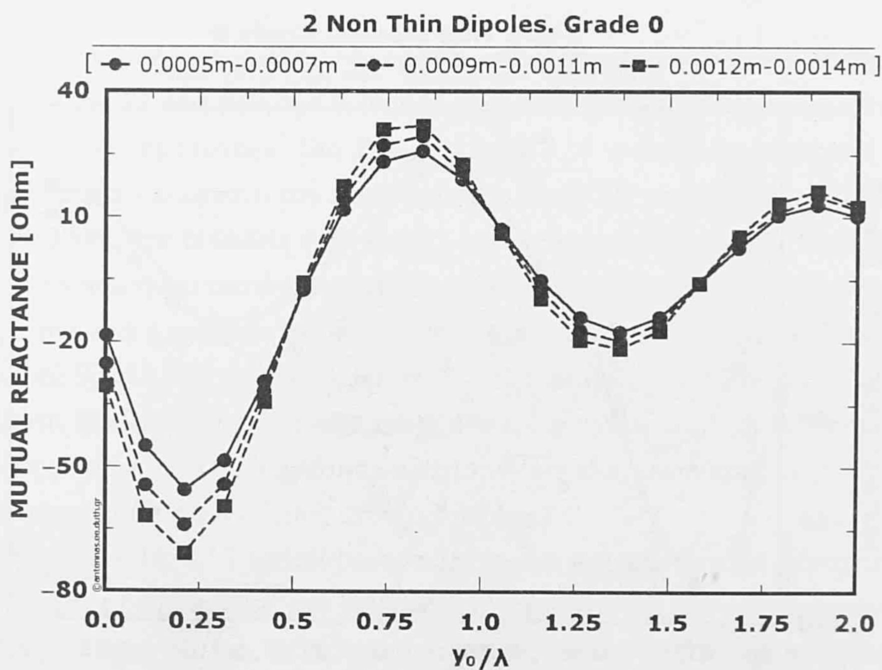
Σχήμα 8.14 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας $\alpha/\lambda=0.012$).



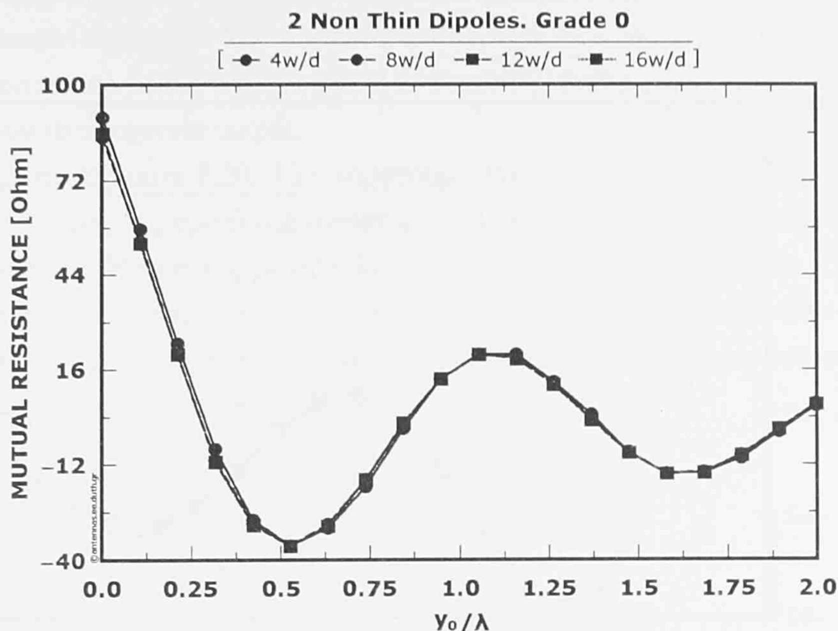
Σχήμα 8.15 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας $\alpha/\lambda=0.012$).



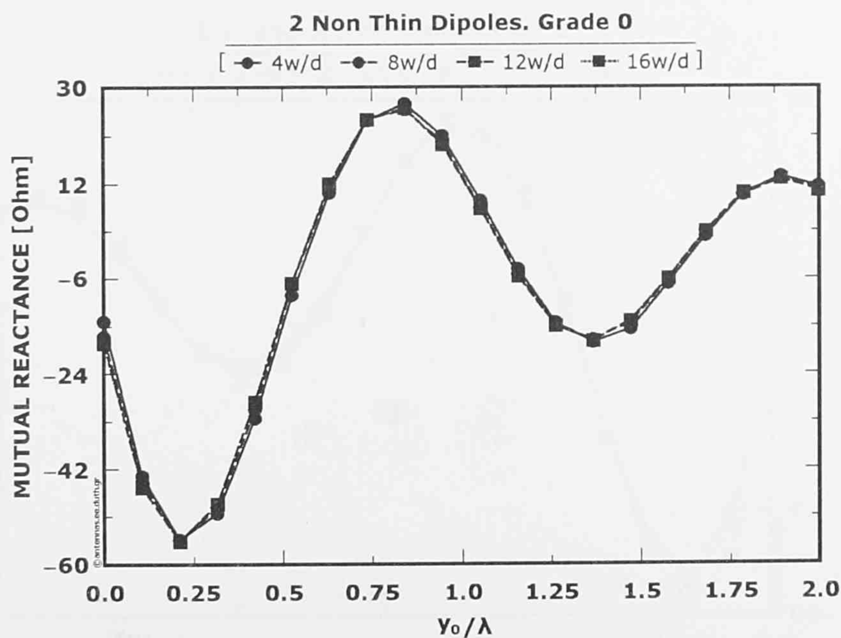
Σχήμα 8.16 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο $\alpha/\lambda=0.012$.



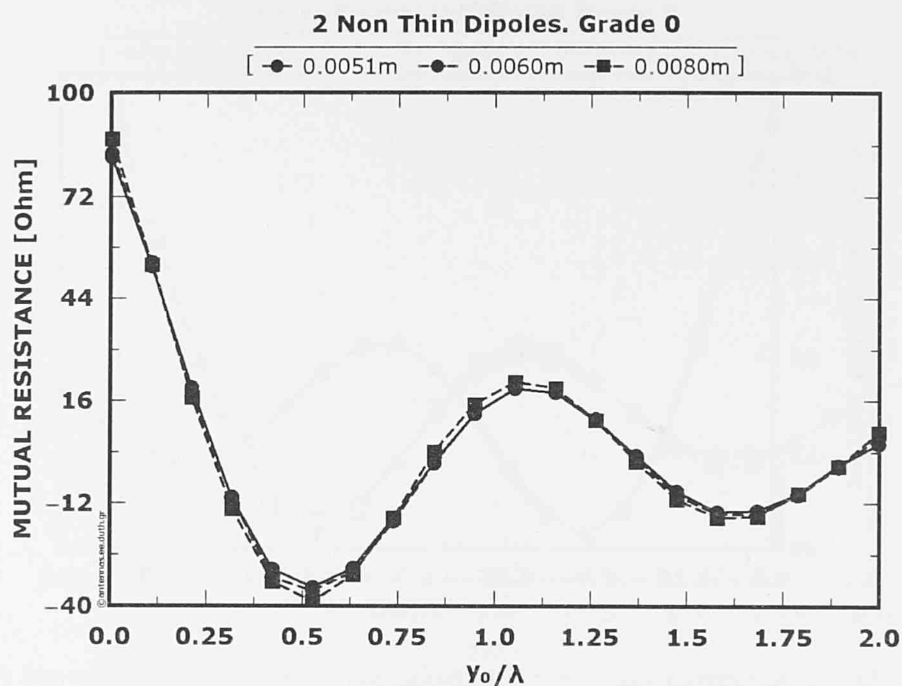
Σχήμα 8.17 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο $\alpha/\lambda=0.012$.



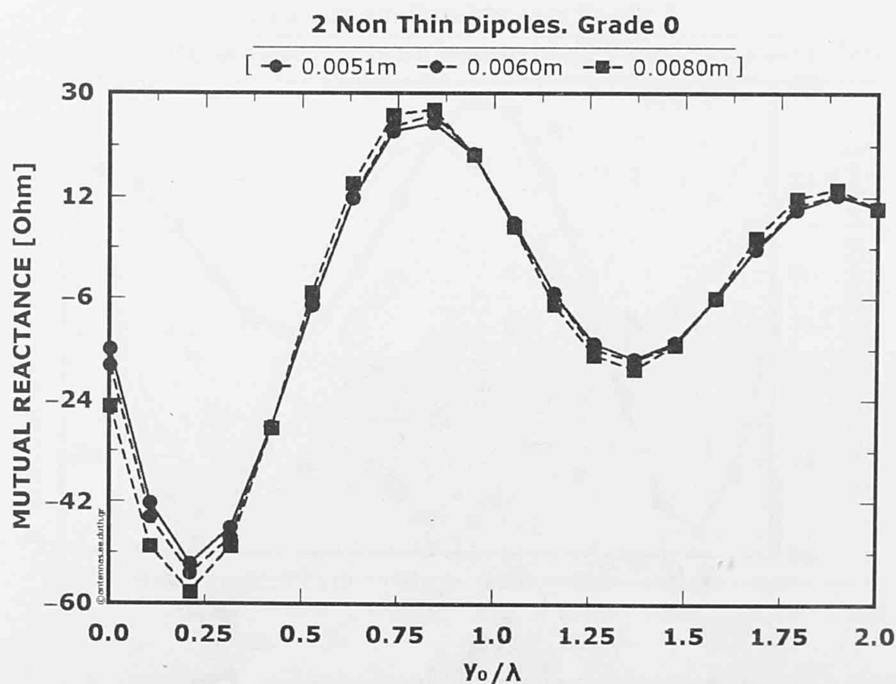
Σχήμα 8.18 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.19 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.20 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.

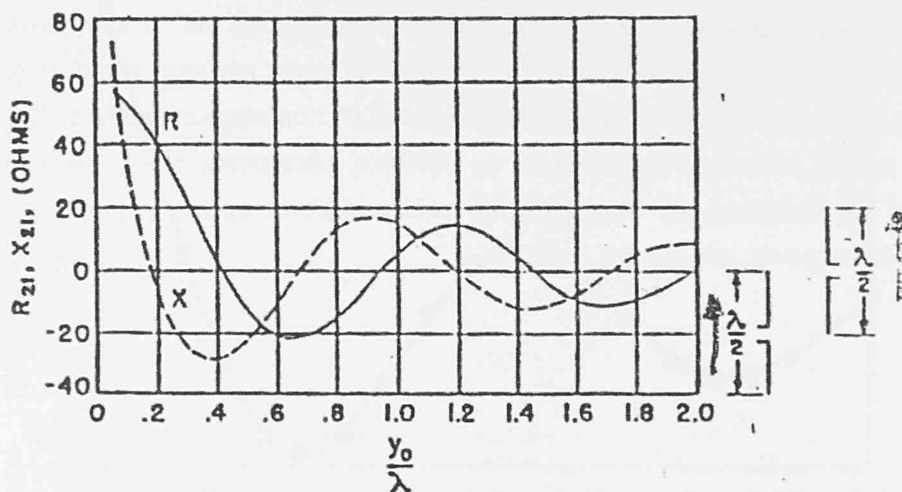


Σχήμα 8.21 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα 0 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.

Στα επόμενα σχήματα, Σχήματα 8.18, 8.19 μεταβάλλουμε τον αριθμό των λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά δίπολο και εξάγουμε διαγράμματα για το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης. Όπως φαίνεται οι μεταβολές που προκύπτουν είναι σχετικά μικρές.

Τέλος, στα Σχήματα 8.20, 8.21 παράγουμε διαγράμματα για το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης αλλάζοντας την τιμή της ακτίνας των μη λεπτών διπόλων. Η τιμή της μεταβάλλεται από 0.0051m εώς και 0.008m. Παρατηρούμε ότι καθώς απομακρυνόμαστε από τη συνθήκη λεπτότητας του διπόλου τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα των διαγραμμάτων μετατοπίζονται προς χαμηλότερες τιμές της κανονικοποιημένης απόστασης.

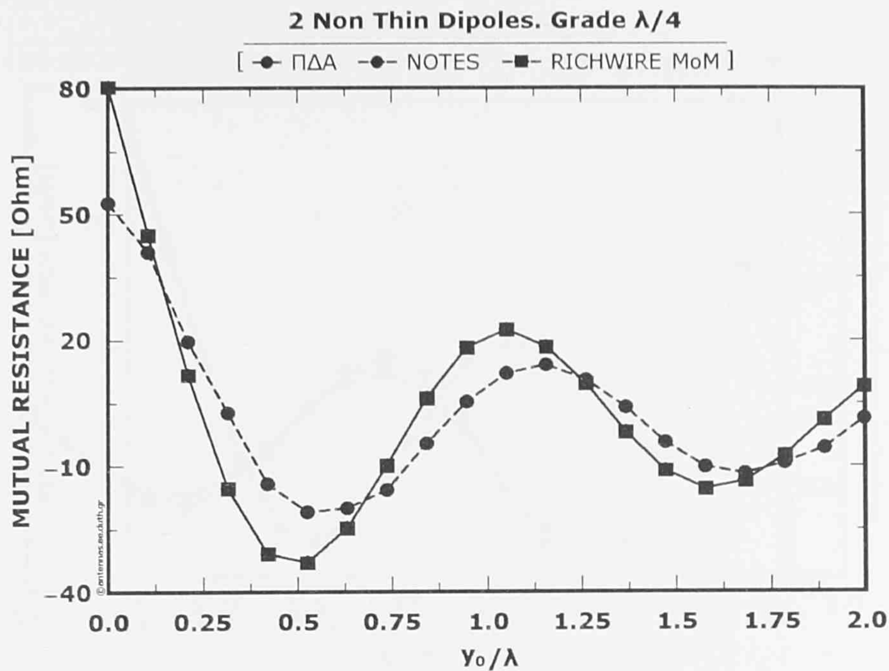
Η δεύτερη ομάδα διαγραμμάτων αφορά δίπολα λ/2 τοποθετημένα υπό βαθμίδα λ/4. Στο Σχήμα 8.22 φαίνεται η αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/4 σύμφωνα με τις σημειώσεις των κεραιών.



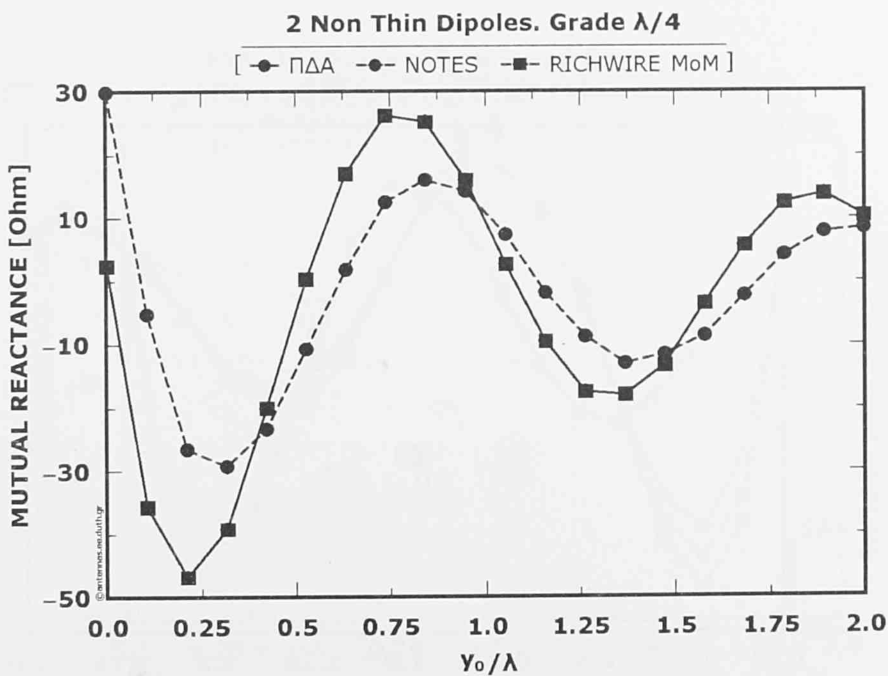
Σχήμα 8.22 : Αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/4, (σημειώσεις κεραιών Δ.Π.Θ., [5].

Η πρώτη σύγκριση που κάνουμε αφορά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δύο μη λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/4 από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire και τις καμπύλες των σημειώσεων. Στα Σχήματα 8.23, 8.24 η καμπύλη με συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του προγράμματος EvalNTD για δύο μη λεπτά δίπολα με ακτίνα α=0.006m στα 600MHz (α/λ=0.012) και αριθμό συρμάτων 12. Η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή και τετράγωνα αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του Richwire για την ίδια γεωμετρία, ενώ η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή στο διάγραμμα των σημειώσεων για δύο λεπτά δίπολα υπό την ίδια βαθμίδα. Στα Σχήματα 8.23, 8.24 οι καμπύλες από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire ταυτίζονται. Σε σχέση με αυτή των σημειώσεων παρατηρούμε ότι υπάρχει μετατόπιση των μεγίστων και ελαχίστων προς μικρότερες τιμές της κανονικοποιημένης απόστασης μεταξύ τους (y_0/λ).

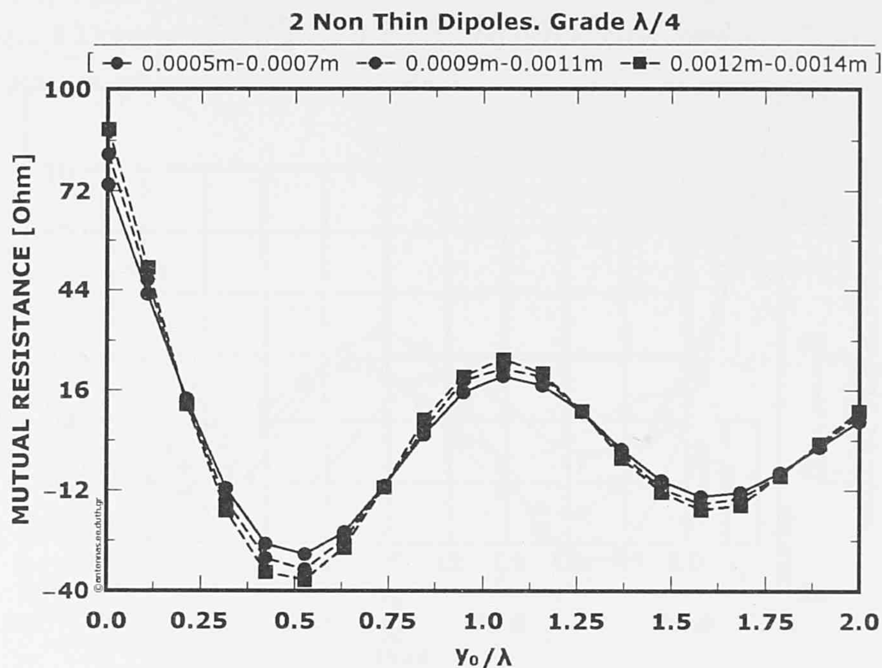
Οι μεταβολές στις παραμέτρους που έγιναν για τα δίπολα υπό βαθμίδα λ/4, είναι ίδιες με αυτές των διπόλων υπό βαθμίδα 0. Έτσι λοιπόν στα Σχήματα 8.25, 8.26 βλέπουμε το πραγματικό και φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης για διαφορετικές τιμές του εύρους των ακτίνων λεπτών συρμάτων, στα Σχήματα 8.27, 8.28 για μεταβολές του αριθμού των λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά δίπολο και στα Σχήματα 8.29, 8.30 για διαφορετική τιμή της ακτίνας των μη λεπτών διπόλων.



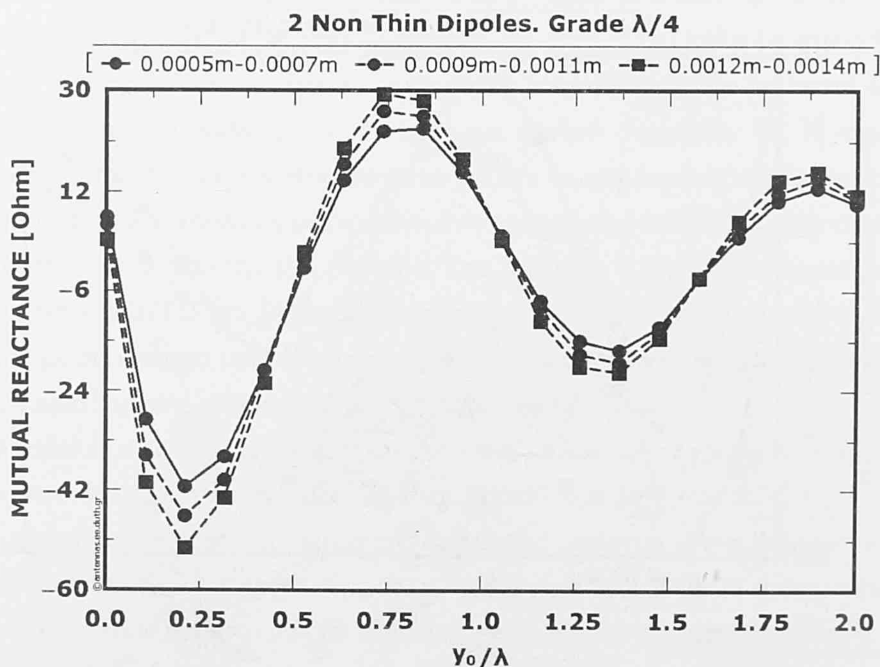
Σχήμα 8.23 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας $\alpha/\lambda=0.012$).



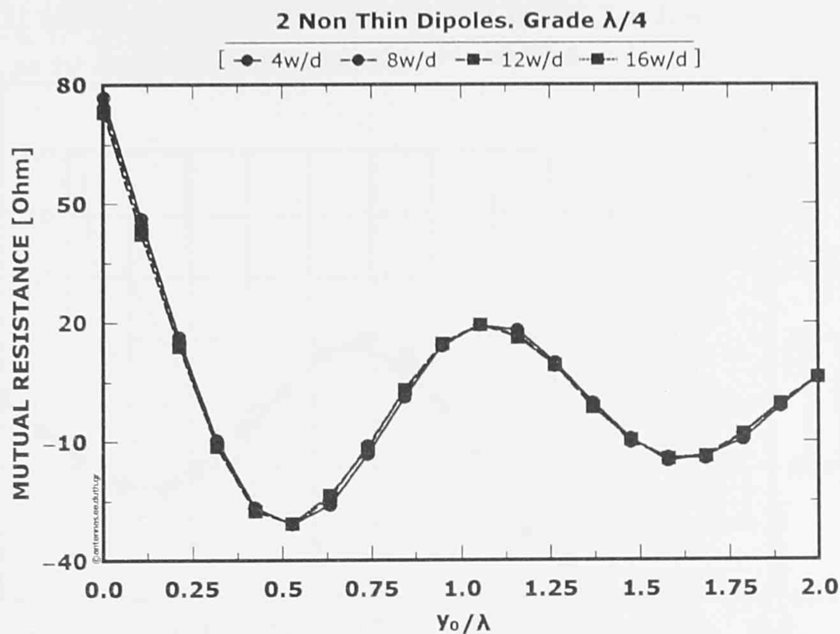
Σχήμα 8.24 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας $\alpha/\lambda=0.012$).



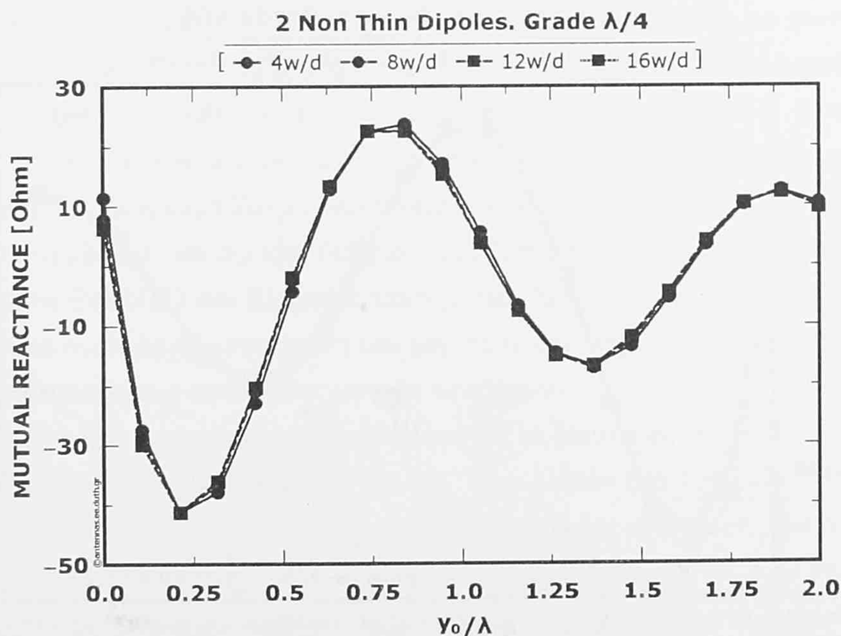
Σχήμα 8.25 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=0.012.



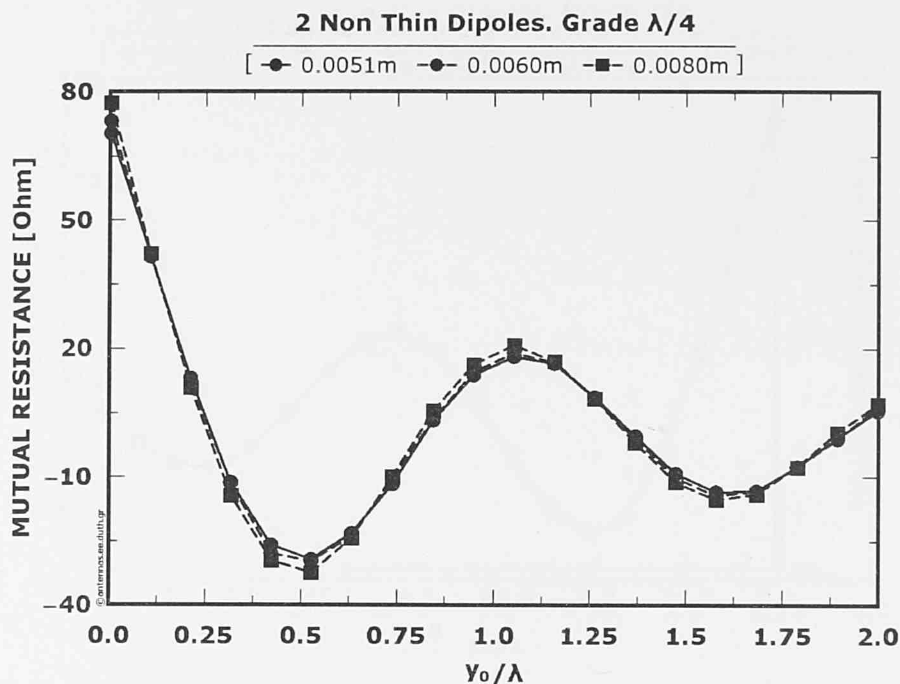
Σχήμα 8.26 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=0.012.



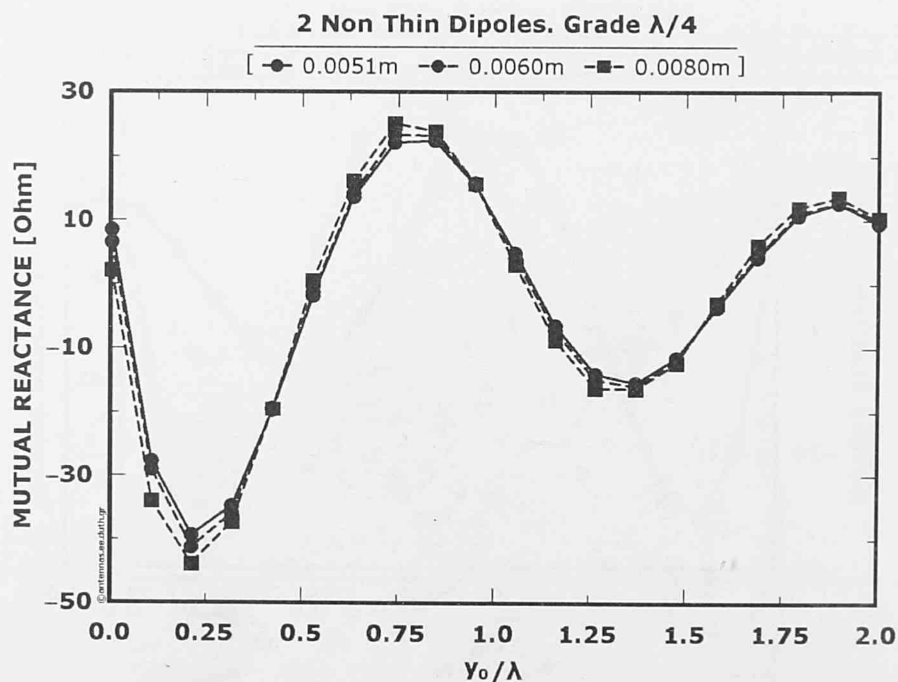
Σχήμα 8.27 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.28 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.

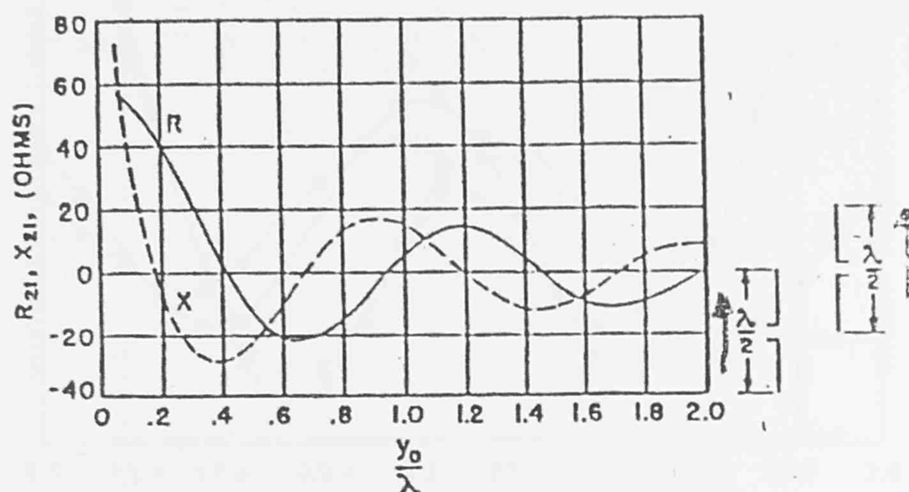


Σχήμα 8.29 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



Σχήμα 8.30 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/4 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.

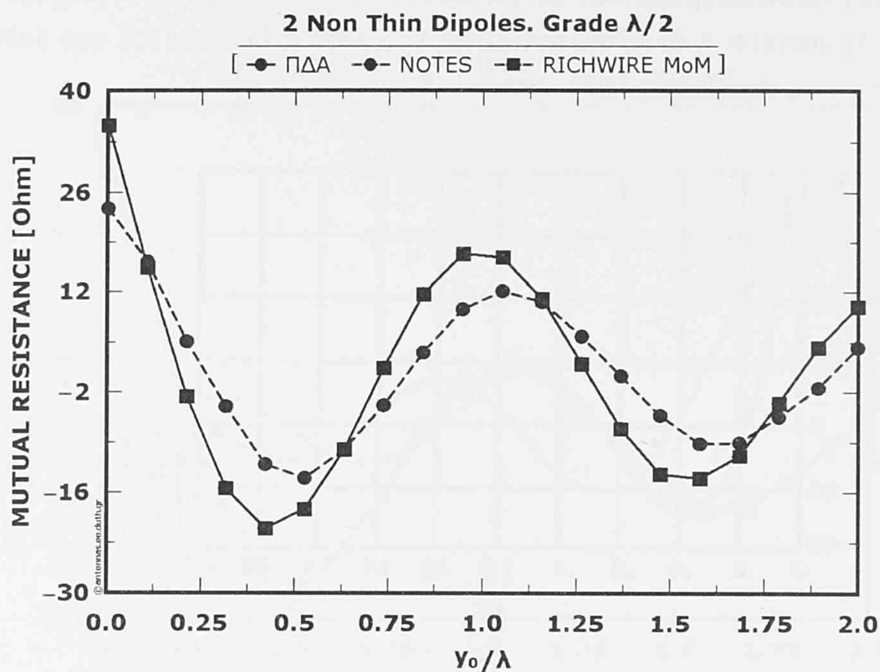
Η τρίτη ομάδα διαγραμμάτων αφορά δίπολα λ/2 τοποθετημένα υπό βαθμίδα λ/2. Στο Σχήμα 8.31 φαίνεται η αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/2 σύμφωνα με τις σημειώσεις των κεραιών.



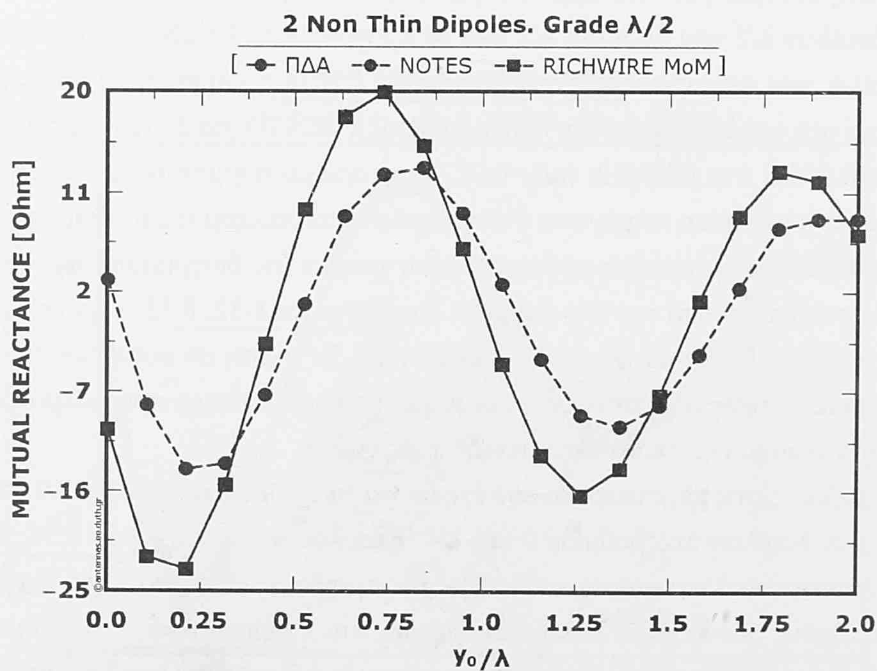
Σχήμα 8.31 : Αμοιβαία αντίσταση δύο λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/2, (σημειώσεις κεραιών Δ.Π.Θ., [5].

Η πρώτη σύγκριση που κάνουμε αφορά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δύο μη λεπτών διπόλων λ/2 υπό βαθμίδα λ/2 από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire και τις καμπύλες των σημειώσεων. Στα Σχήματα 8.32, 8.33 η καμπύλη με συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του προγράμματος EvalNTD για δύο μη λεπτά δίπολα με ακτίνα α=0.006m στα 600MHz (α/λ=0.012) και αριθμό συρμάτων 12. Η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή και τετράγωνα αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του Richwire για την ίδια γεωμετρία, ενώ η καμπύλη με διακεκομένη γραμμή στο διάγραμμα των σημειώσεων για δύο λεπτά δίπολα υπό την ίδια βαθμίδα. Στα Σχήματα 8.32, 8.33 οι καμπύλες από τα προγράμματα EvalNTD και Richwire ταυτίζονται. Σε σχέση με αυτή των σημειώσεων παρατηρούμε ότι υπάρχει μετατόπιση των μεγίστων και ελαχίστων προς μικρότερες τιμές της κανονικοποιημένης απόστασης μεταξύ τους (y_0/λ).

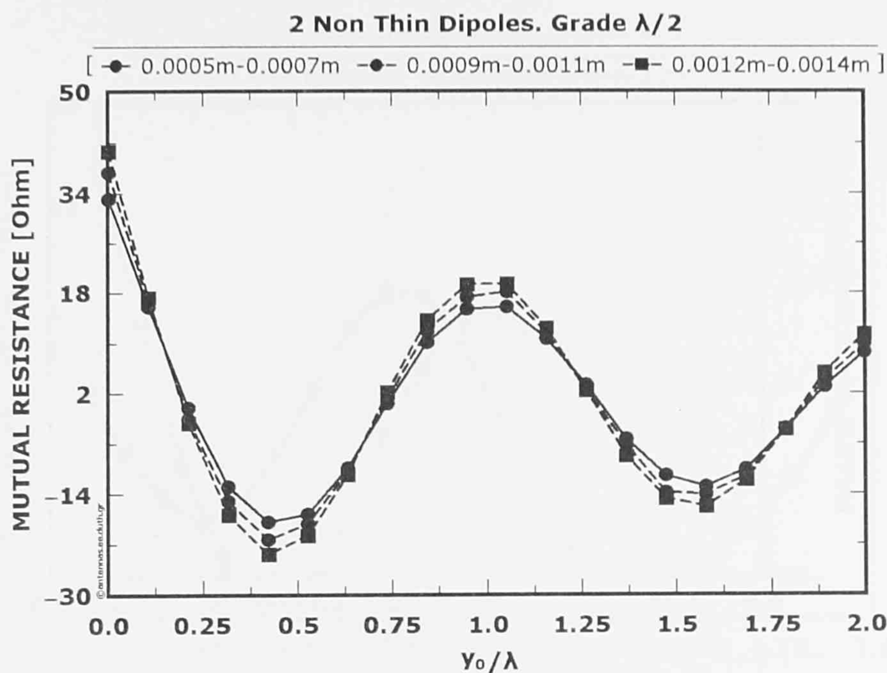
Οι μεταβολές στις παραμέτρους που έγιναν για τα δίπολα υπό βαθμίδα λ/2, είναι ίδιες με αυτές των διπόλων υπό βαθμίδα 0 και λ/4. Έτσι λοιπόν στα Σχήματα 8.34, 8.35 βλέπουμε το πραγματικό και φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης για διαφορετικές τιμές του εύρους των ακτίνων λεπτών συρμάτων, στα Σχήματα 8.36, 8.37 για μεταβολές του αριθμού των λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά δίπολο και στα Σχήματα 8.38, 8.39 για διαφορετική τιμή της ακτίνας των μη λεπτών διπόλων.



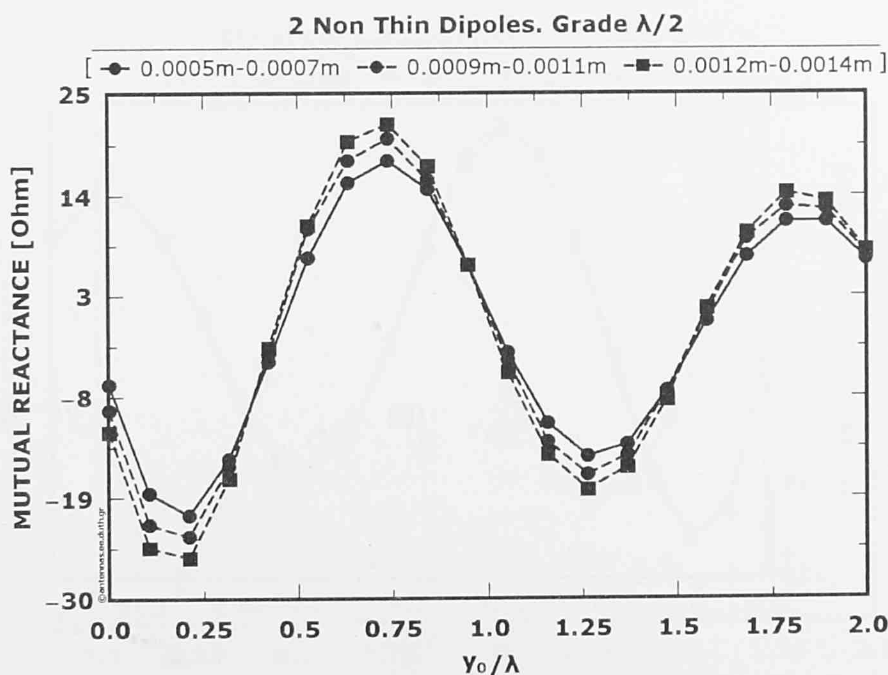
Σχήμα 8.32 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας α/λ=0.012).



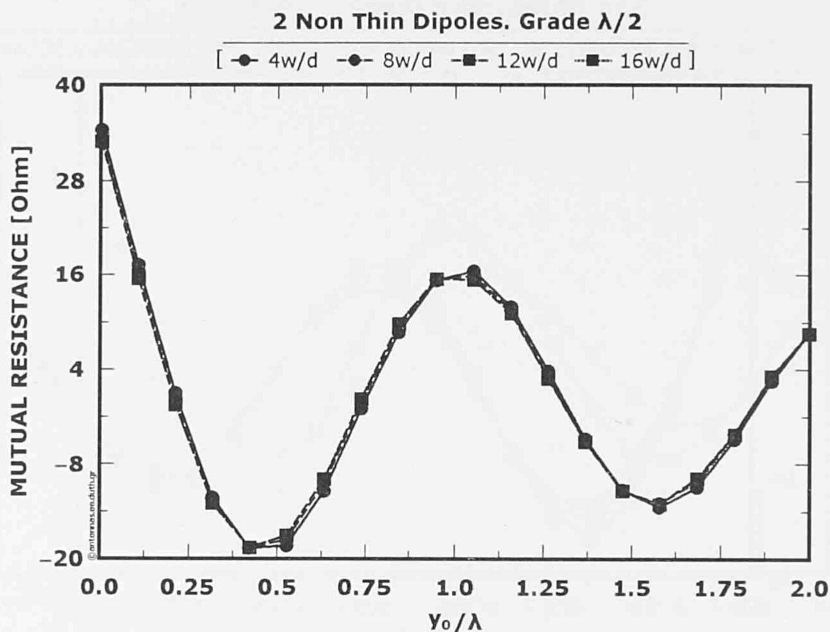
Σχήμα 8.33 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ (για το μοντέλο μας α/λ=0.012).



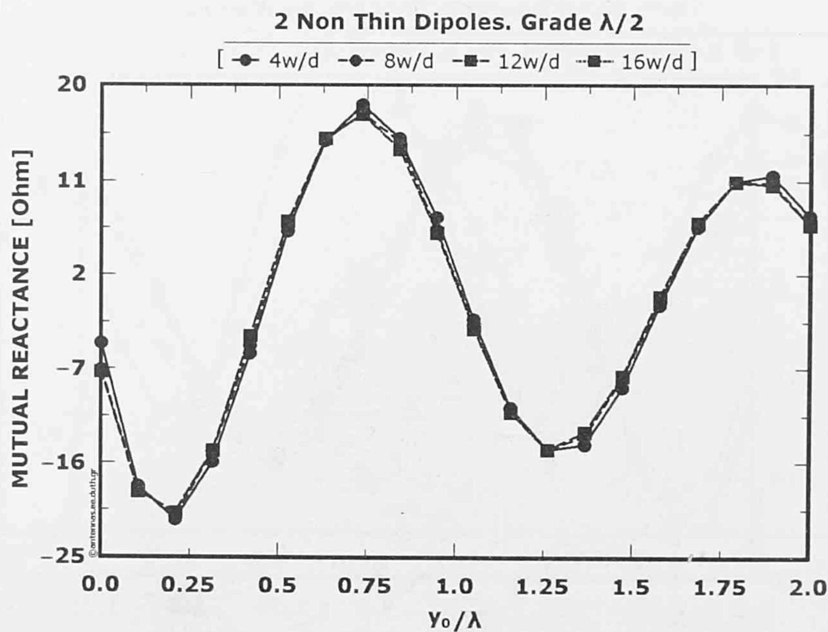
Σχήμα 8.34 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=0.012.



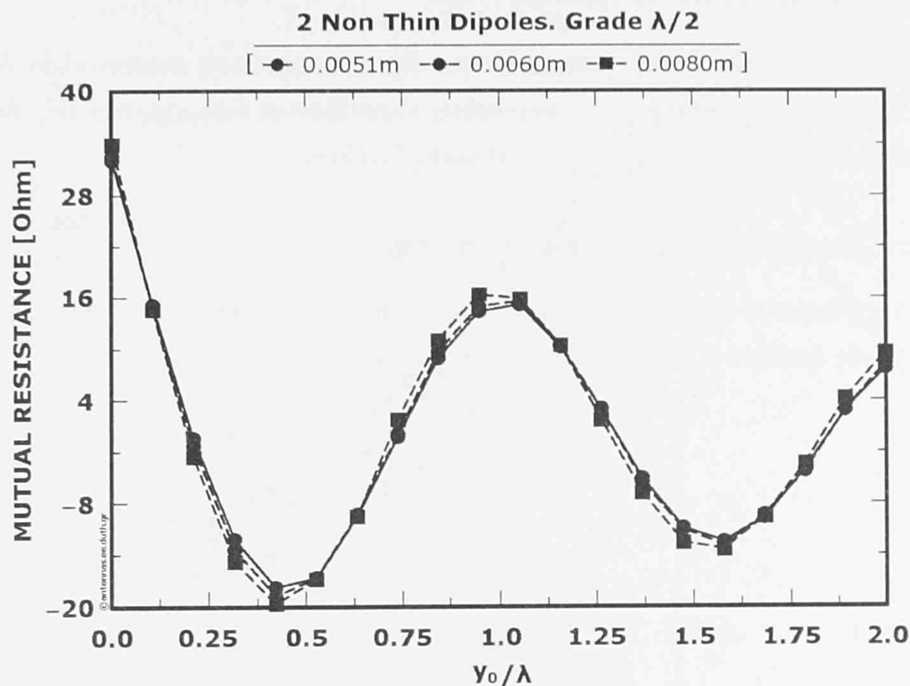
Σχήμα 8.35 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικές ακτίνες λεπτών συρμάτων και για λόγο α/λ=0.012.



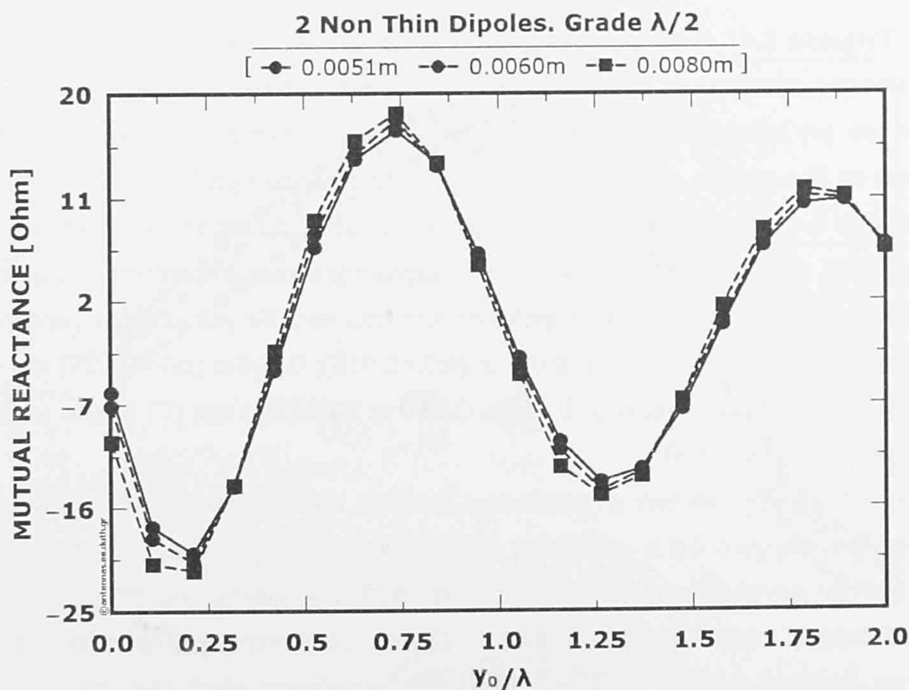
Σχήμα 8.36 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.37 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετικό αριθμό λεπτών περιφερειακών συρμάτων ανά μη λεπτό δίπολο και για λόγο α/λ=0.012.



Σχήμα 8.38 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



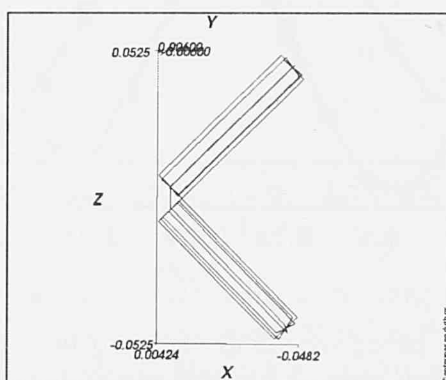
Σχήμα 8.39 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων υπό βαθμίδα λ/2 συναρτήσει του y_0/λ για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.

8.3 : Διαγράμματα προγράμματος NTD.

Το πρόγραμμα NTD χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ανισοσκελών διπόλων τύπου V στον χώρο. Έτσι λοιπόν, παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα της ιδίας, της αμοιβαίας και της αντίστασης εισόδου τέτοιων διπόλων.

8.3.1 : Διαγράμματα ιδίας αντίστασης

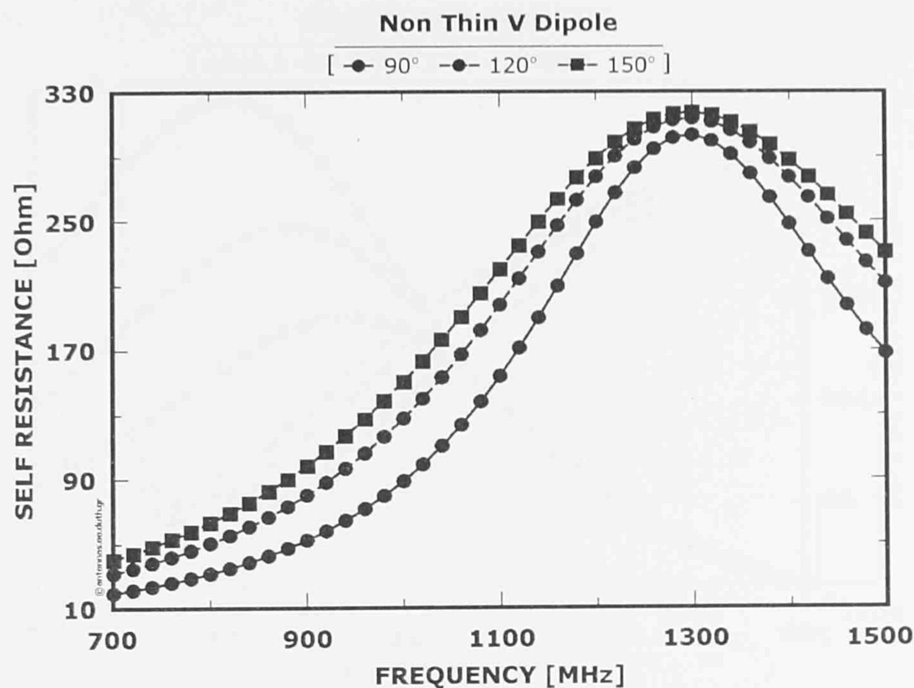
Τα διαγράμματα της ιδίας αντίστασης προκύπτουν μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους ενός διπόλου V, όπως αυτό του Σχήματος 8.40.



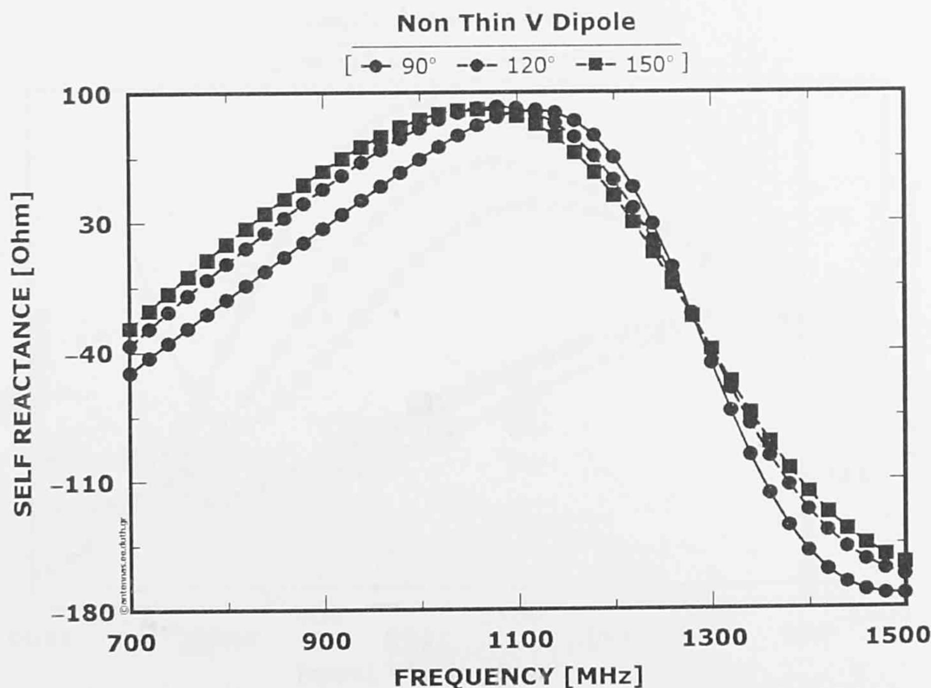
Σχήμα 8.40 : Ανισοσκελές δίπολο τύπου V.

Στα Σχήματα 8.41, 8.42 φαίνονται το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας για διάφορες τιμές της γωνίας μεταξύ των σκελών του μη λεπτού διπόλου του Σχήματος 8.40. Επίσης, στα Σχήματα 8.43, 8.44 φαίνονται τα ίδια μεγέθη για διάφορες τιμές της ακτίνας του μη λεπτού διπόλου. Τέλος, στα Σχήματα 8.45, 8.47, 8.48 και 8.50 δίνονται τα διαγράμματα του λόγου στάσιμων κυμάτων (SWR) ως προς 50Ω, 75Ω και 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του διπόλου είναι: (A) Ακτίνα: 0.006m (α/λ=0.018), 0.008m (α/λ=0.024) και 0.010m (α/λ=0.030), (B) Μήκος διπόλου: 0.167m (λ/2 στα 900MHz) και (Γ) Γωνία μεταξύ των σκελών: 90°, 120° και 150°.

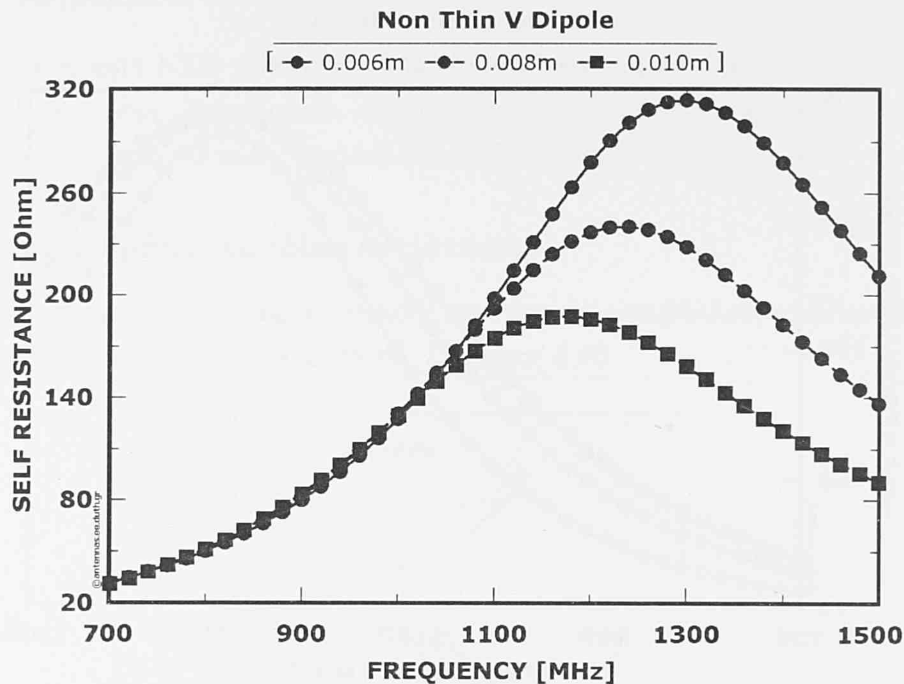
Από τα διαγράμματα των αντιστάσεων εισόδου και των λόγων στάσιμων κυμάτων συμπεραίνουμε αρχικά ότι η μεταβολή στην γωνία επηρεάζει το εύρος ζώνης. Για την ακρίβεια όταν μεγαλώνει η γωνία αυξάνεται το εύρος ζώνης για το οποίο το SWR των 300Ω πέφτει κάτω από 2, Σχήμα 8.47. Ωστόσο, η κεντρική συχνότητα του εύρους παραμένει σταθερή και το SWR στα 300Ω στη συχνότητα αυτή είναι το χαμηλότερο. Επιπλέον και η μεταβολή στην ακτίνα του μη λεπτού διπόλου επηρεάζει τη συχνότητα συντονισμού. Για την ακρίβεια όταν αυξάνει η ακτίνα τότε μειώνεται η συχνότητα συντονισμού.



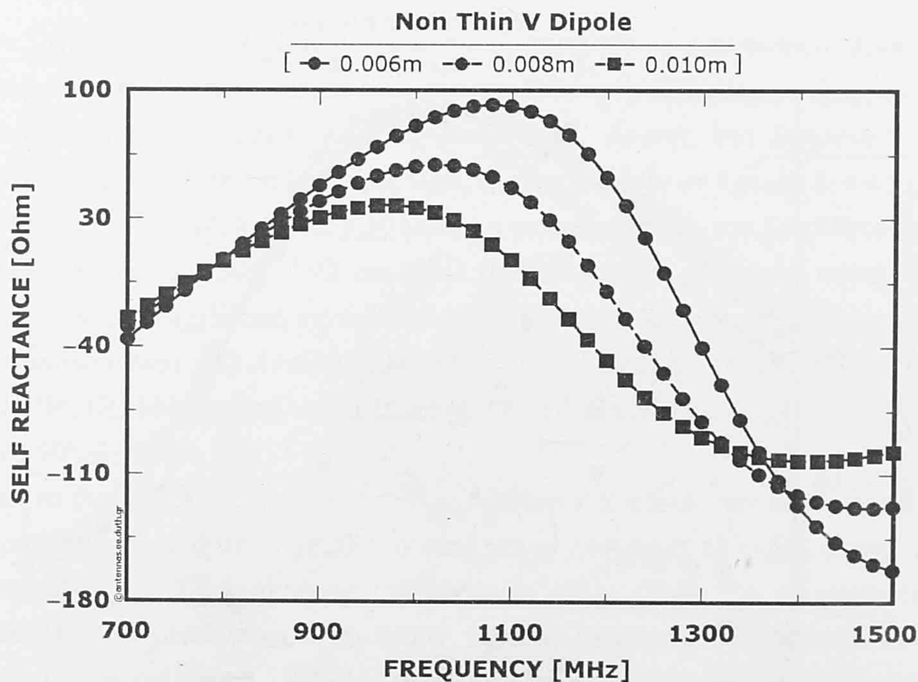
Σχήμα 8.41 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών του διπόλου.



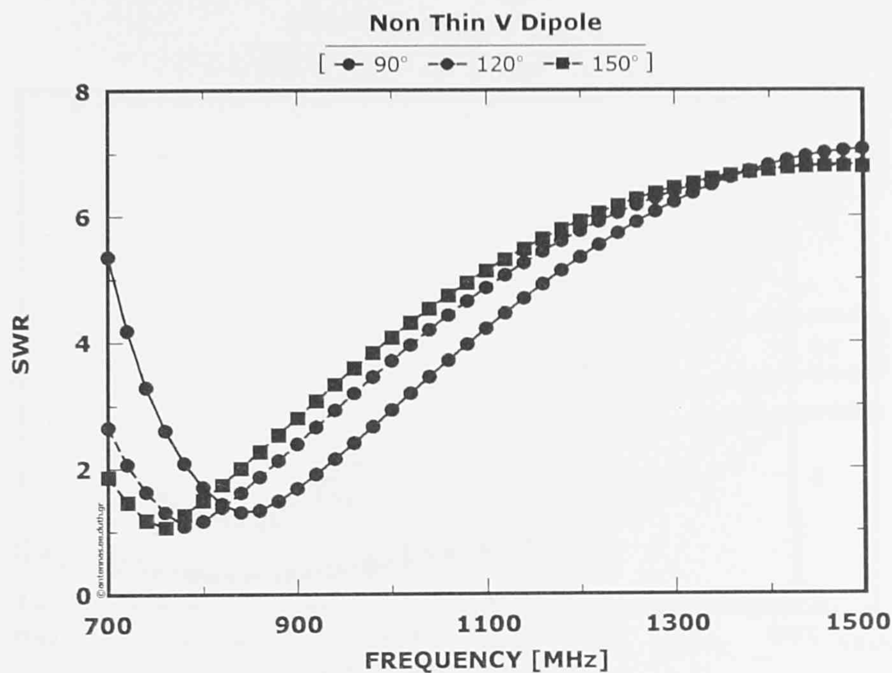
Σχήμα 8.42 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών του διπόλου.



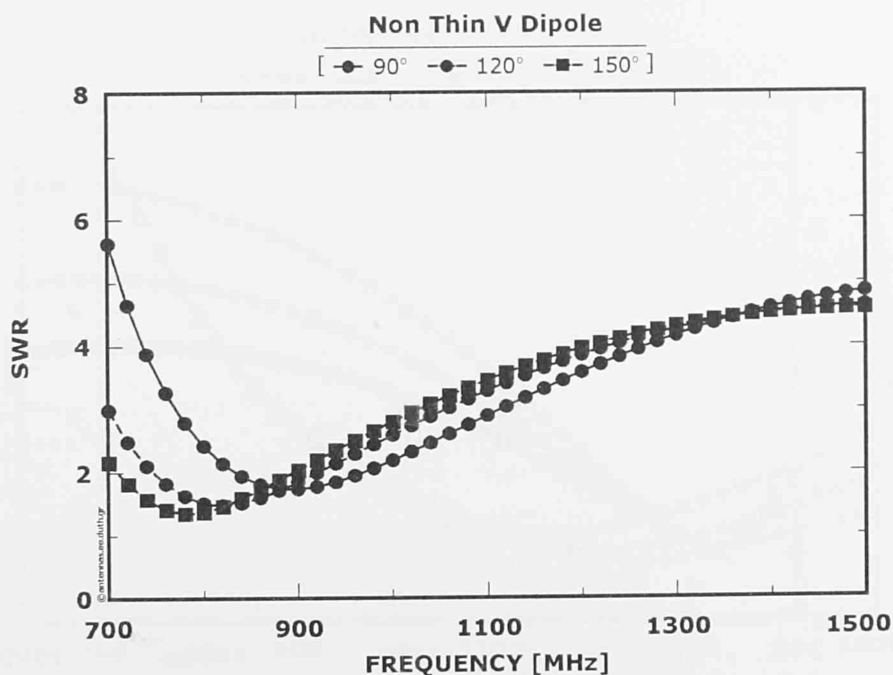
Σχήμα 8.43 : Πραγματικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικη ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



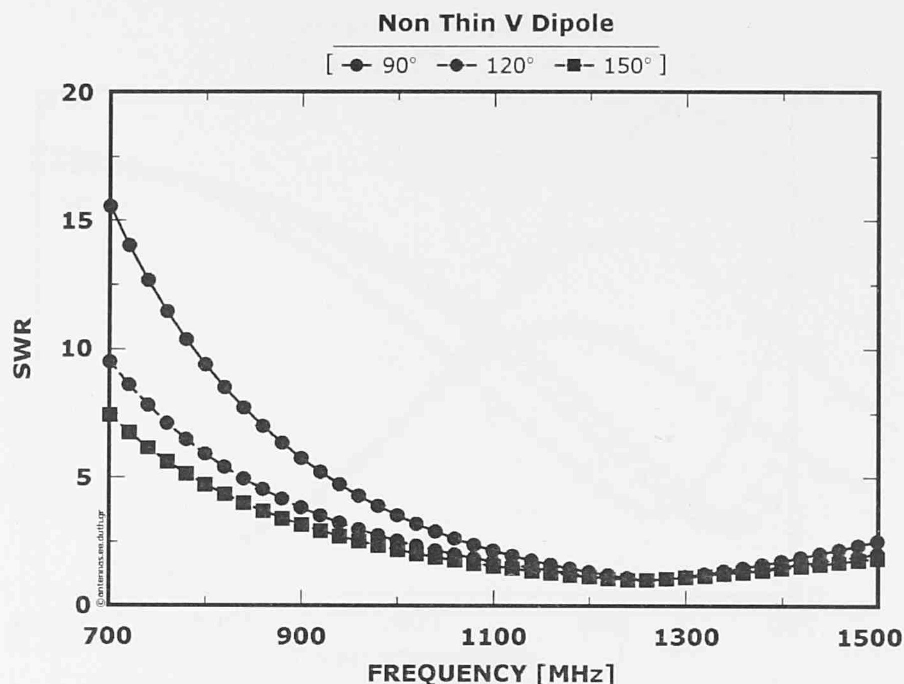
Σχήμα 8.44 : Φανταστικό μέρος της ιδίας αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικη ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



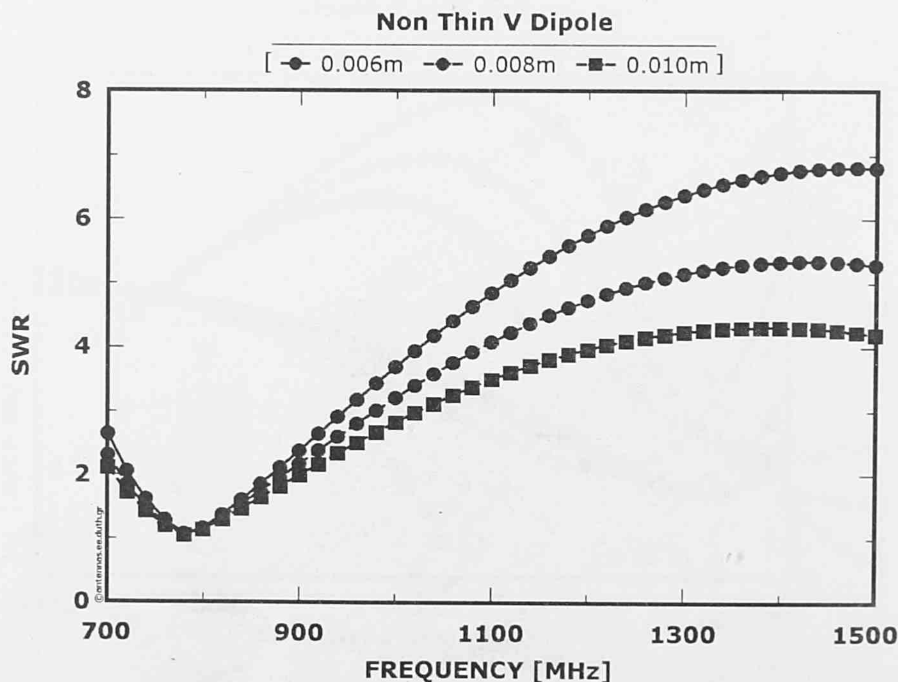
Σχήμα 8.45 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 50Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών του διπόλου.



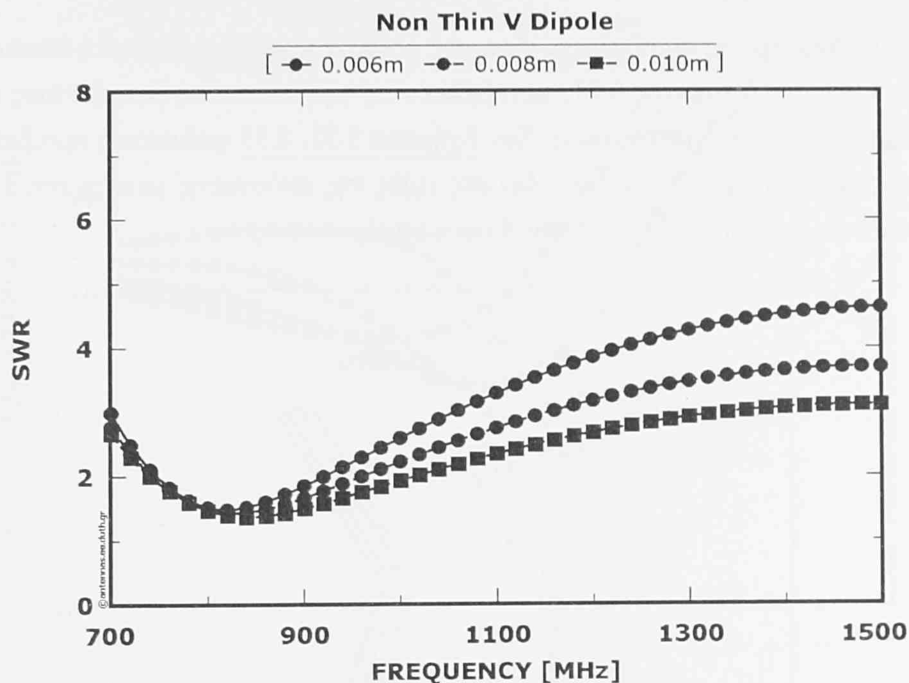
Σχήμα 8.46 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 75Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών του διπόλου.



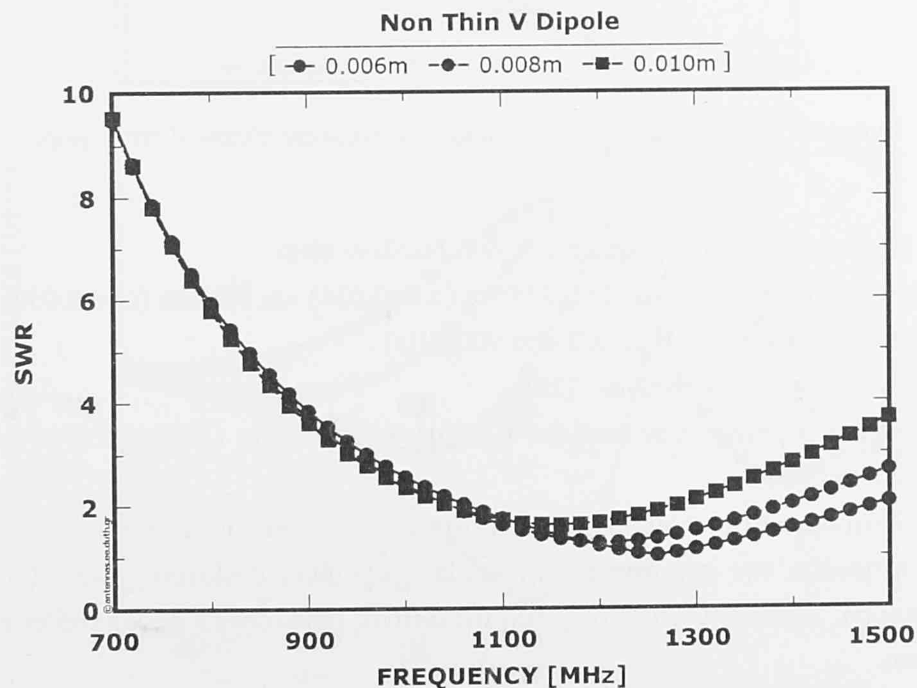
Σχήμα 8.47 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών του διπόλου.



Σχήμα 8.48 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 50Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



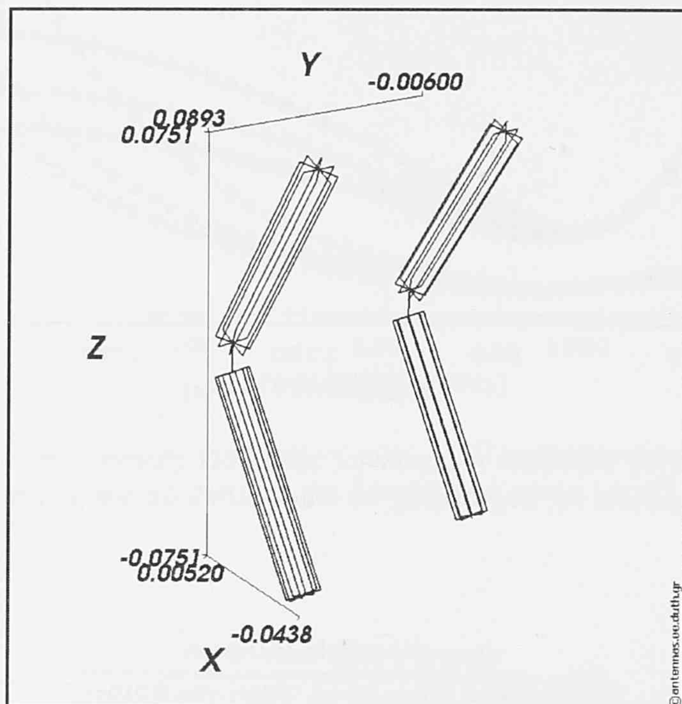
Σχήμα 8.49 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 75Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.



Σχήμα 8.50 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική ακτίνα μη λεπτού διπόλου.

8.3.2 : Διαγράμματα αμοιβαίας αντίστασης

Τα διαγράμματα της αμοιβαίας αντίστασης εξάγονται για δύο ισοσκελή δίπολα τύπου V, όπως αυτά του Σχήματος 8.51, μεταβάλλοντας την απόσταση μεταξύ τους και την ακτίνα τους για σταθερή απόσταση. Στα Σχήματα 8.52, 8.53 φαίνεται η αμοιβαία αντίσταση ως προς τη συχνότητα για διάφορες τιμές της απόστασης μεταξύ των κέντρων τους, ενώ στα Σχήματα 8.54, 8.55 για διαφορετικές ακτίνες.

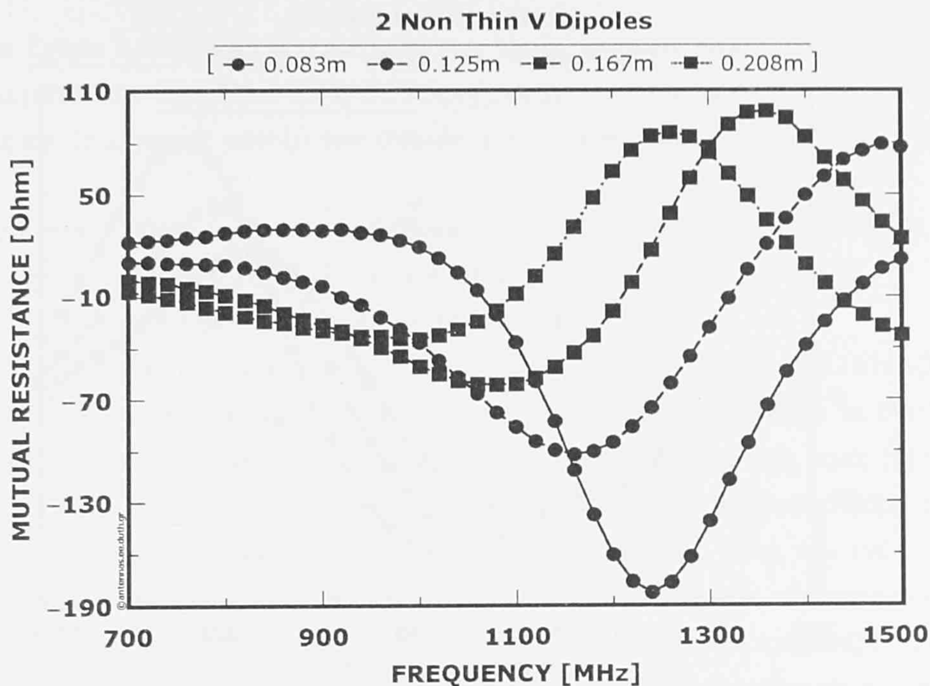


Σχήμα 8.51 : Γεωμετρία δύο ισοσκελών διπόλων τύπου V στον χώρο.

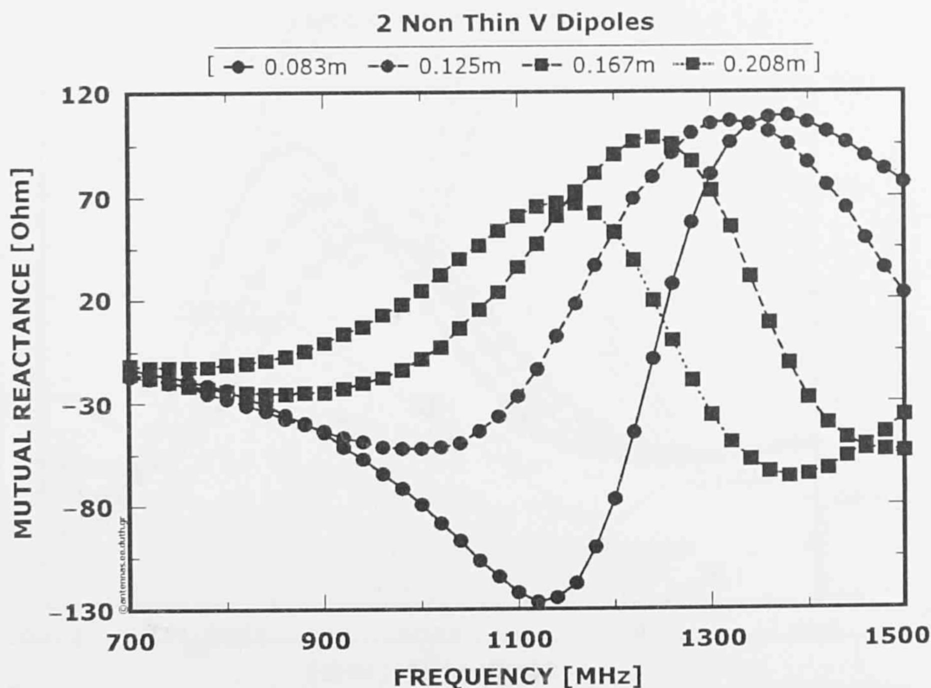
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο διπόλων είναι:

- Ακτίνα: 0.006m (α/λ=0.018), 0.008m (α/λ=0.024) και 0.010m (α/λ=0.030).
- Μήκος διπόλου: 0.167m (λ/2 στα 900MHz) .
- Γωνία μεταξύ των σκελών: 120°.
- Απόσταση μεταξύ των σκελών: 0.083m (λ/4), 0.125m (3λ/8), 0.167m (λ/2) και 0.208m (5λ/8).

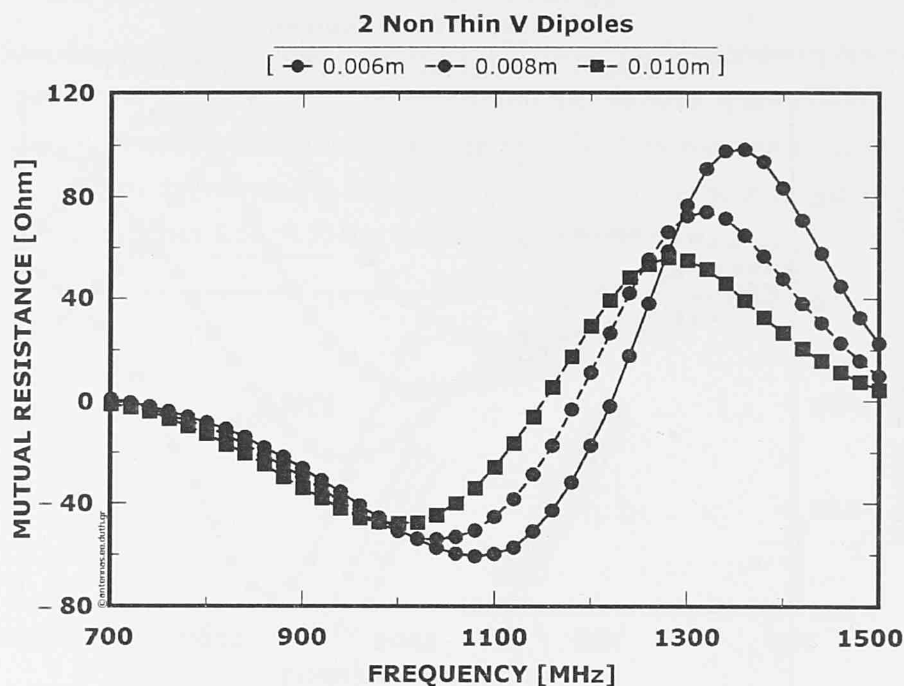
Από τα διαγράμματα των αμοιβαίων αντιστάσεων συμπεραίνουμε ότι η μεταβολή στην ακτίνα επηρεάζει την συχνότητα στην οποία η αμοιβαία αντίσταση εμφανίζει ωμική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα όταν η τιμή της ακτίνας μεγαλώνει η παραπάνω συχνότητα μειώνεται.



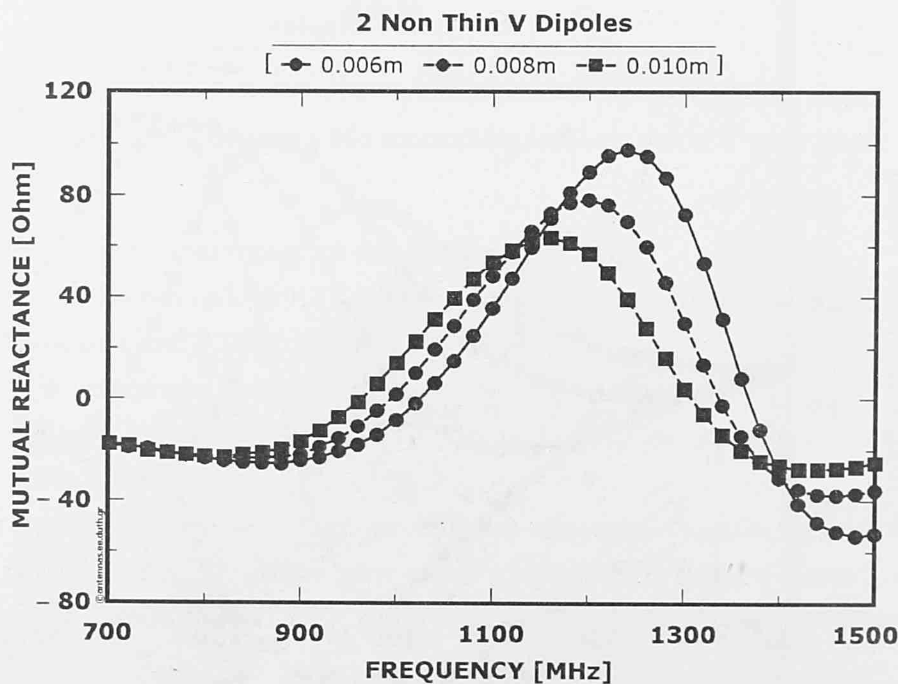
Σχήμα 8.52 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.



Σχήμα 8.53 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.



Σχήμα 8.54 : Πραγματικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες αυτών.



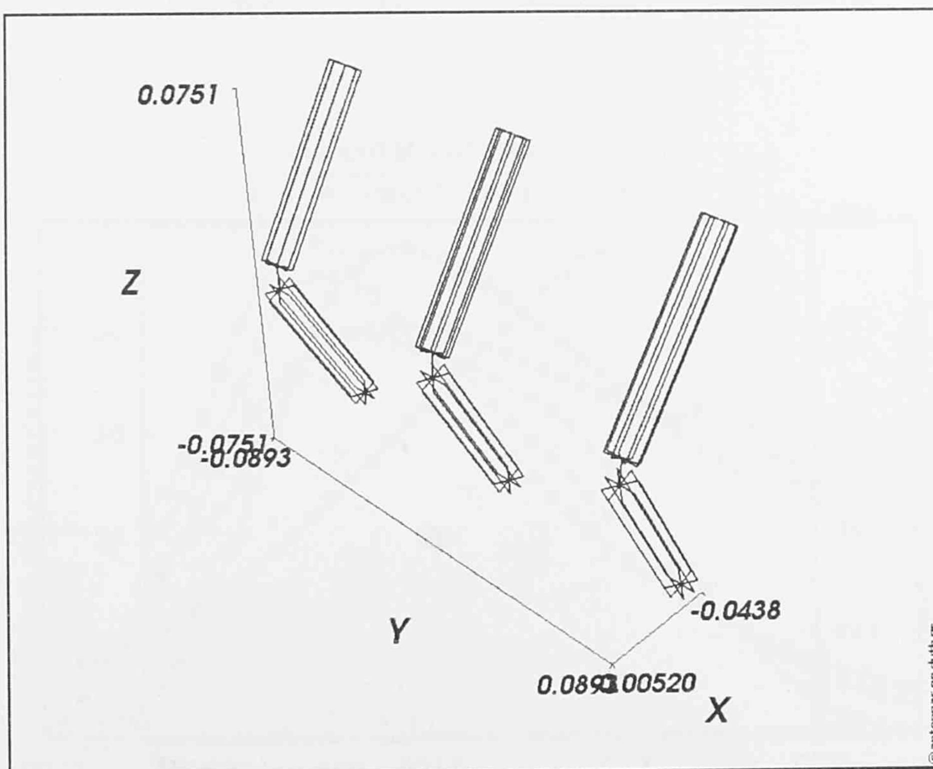
Σχήμα 8.55 : Φανταστικό μέρος της αμοιβαίας αντίστασης δύο διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες αυτών.

8.3.3 : Διαγράμματα αντίστασης εισόδου

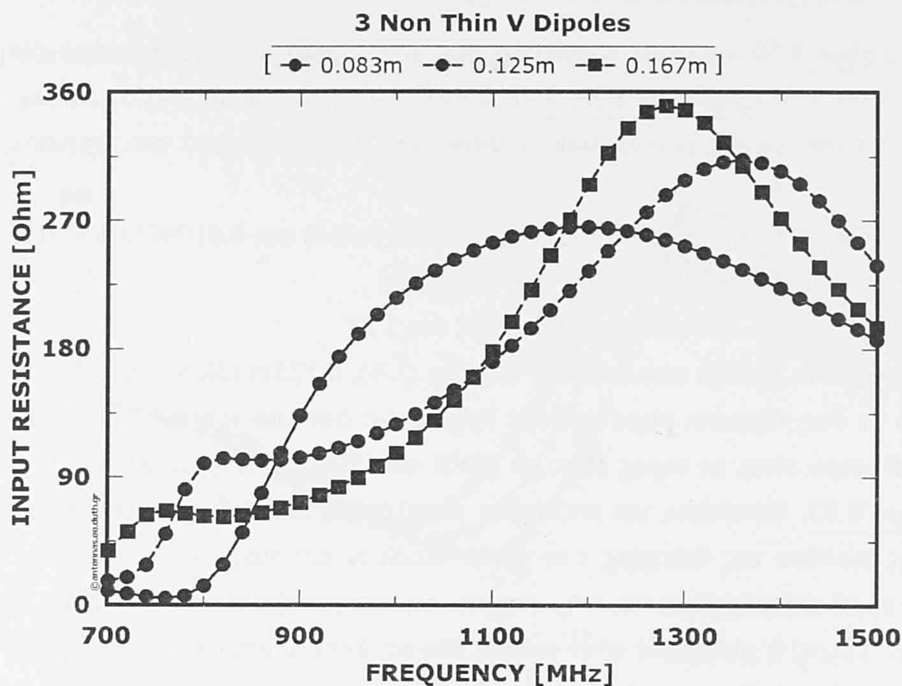
Στο Σχήμα 8.56 φαίνεται η διάταξη των τριών διπόλων που προσομοιώθηκε. Τα διαγράμματα των Σχημάτων 8.57, 8.58 προέκυψαν για τρία ισοσκελή δίπολα με ίσες ακτίνες και ίσες γωνίες μεταξύ των σκελών τους. Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά είναι:

- Ακτίνα: 0.006m (α/λ=0.018), 0.008m (α/λ=0.024) και 0.010m (α/λ=0.030).
- Μήκος διπόλου: 0.167m (λ/2 στα 900MHz) .
- Γωνία μεταξύ των σκελών: 90°, 120° και 150°.
- Απόσταση μεταξύ των σκελών: 0.083m (λ/4), 0.125m (3λ/8) και 0.167m (λ/2).

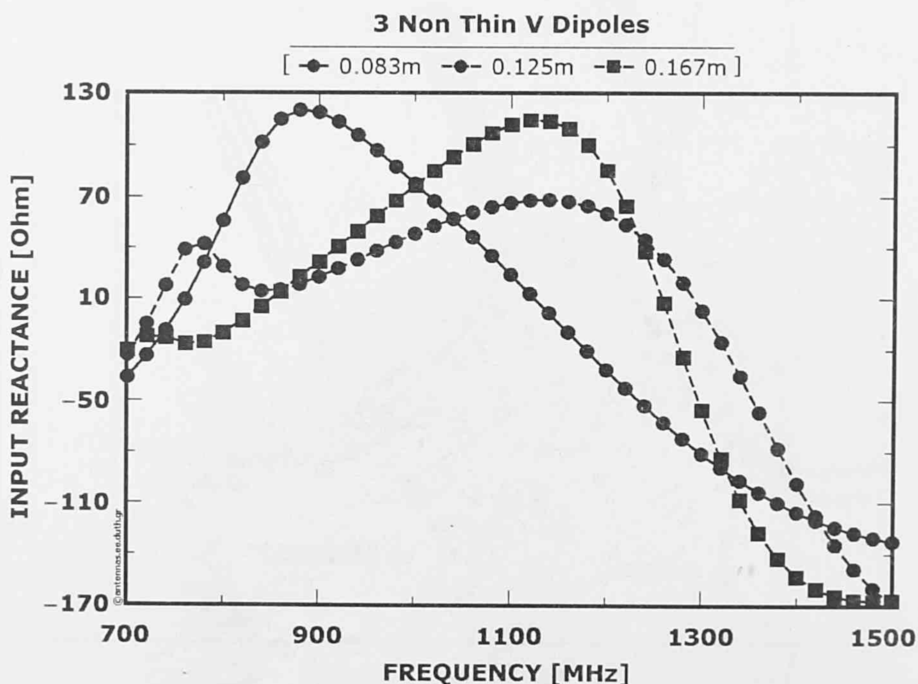
Από τα διαγράμματα παρατηρούμε αρχικά ότι όσο πιο κοντά είναι τα δίπολα τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος όπου το SWR των 300Ω έχει χαμηλές τιμές (κάτω από 2), Σχήμα 8.65. Επιπλέον, για απόσταση μεγαλύτερη από λ/2 η συμπεριφορά της αντίστασης εισόδου της διάταξης των τριών διπόλων πλησιάζει αυτή του ενός. Η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται και στην περίπτωση που μεταβάλλονται οι γωνίες των τριών διπόλων. Τέλος, η μεταβολή στην ακτίνα του μη λεπτού διπόλου επηρεάζει τη συχνότητα συντονισμού. Για την ακρίβεια όταν αυξάνει η ακτίνα τότε μειώνεται η συχνότητα συντονισμού.



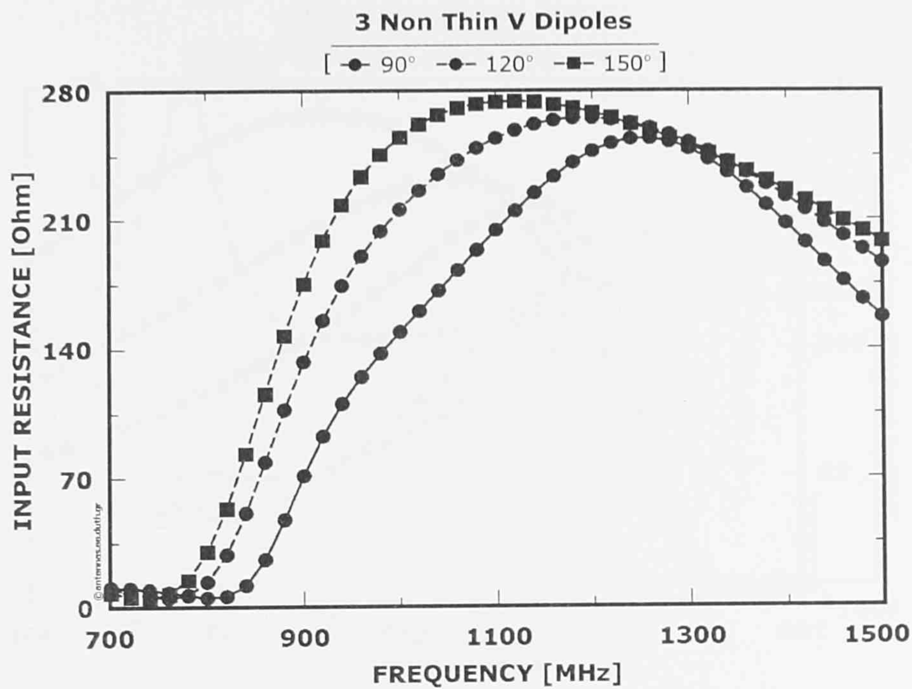
Σχήμα 8.56 : Γεωμετρία τριών ισοσκελών διπόλων τύπου V στον χώρο.



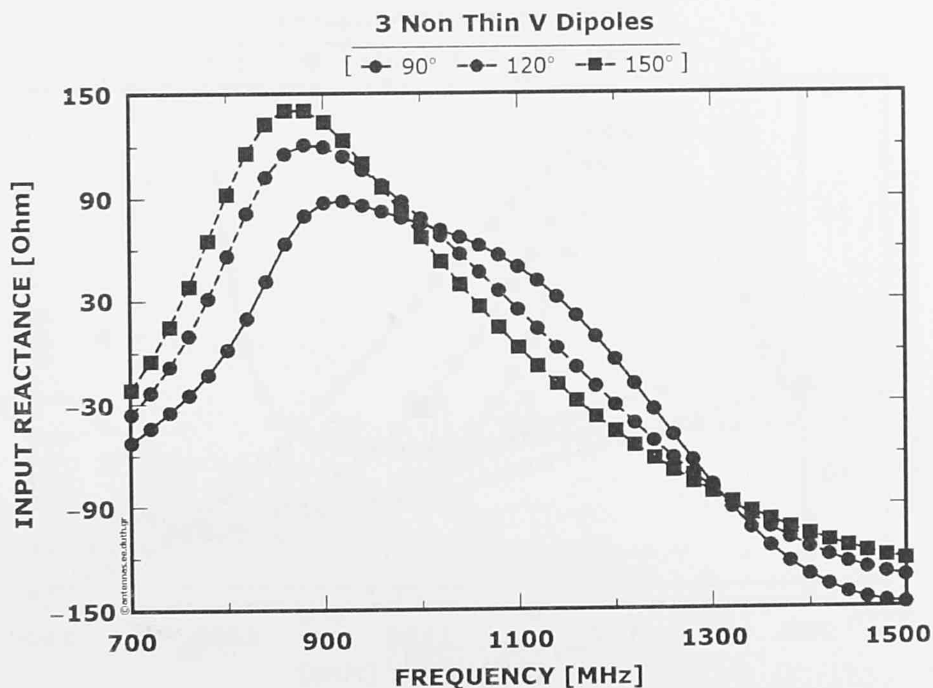
Σχήμα 8.57 : Πραγματικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.



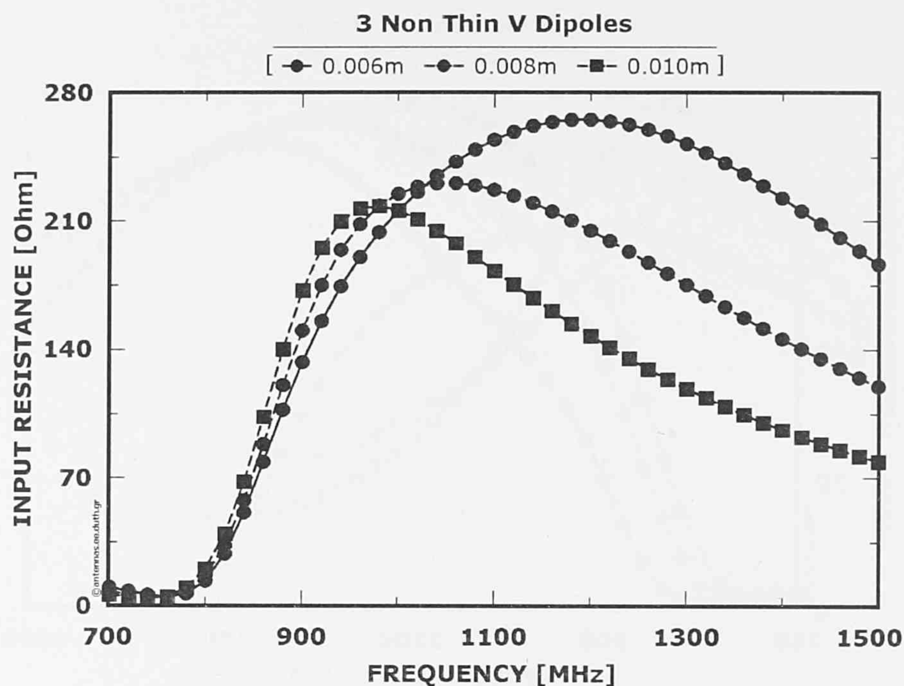
Σχήμα 8.58 : Φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.



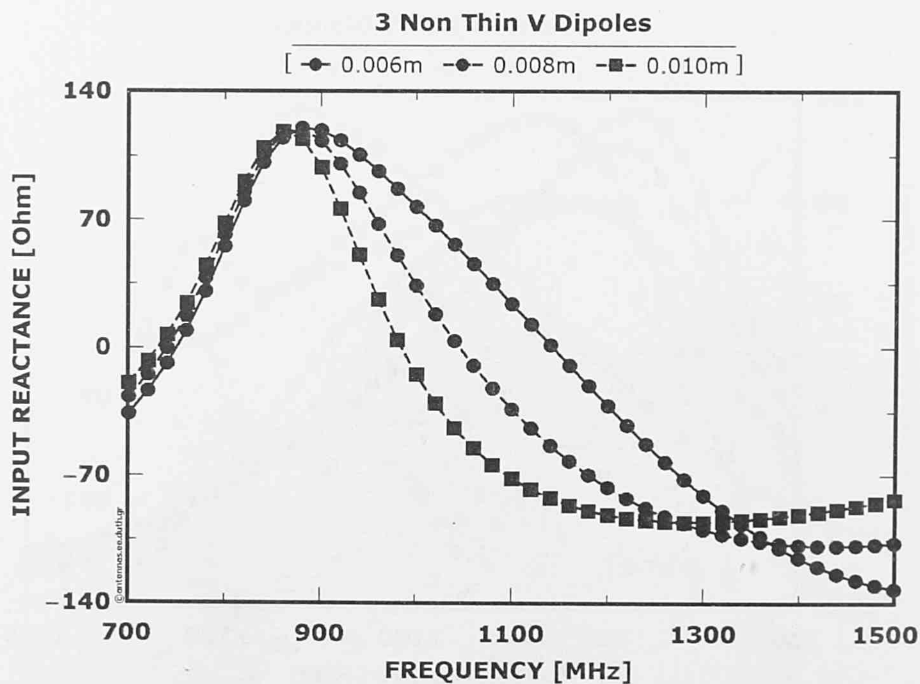
Σχήμα 8.59 : Πραγματικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές γωνίες μεταξύ των σκελών τους.



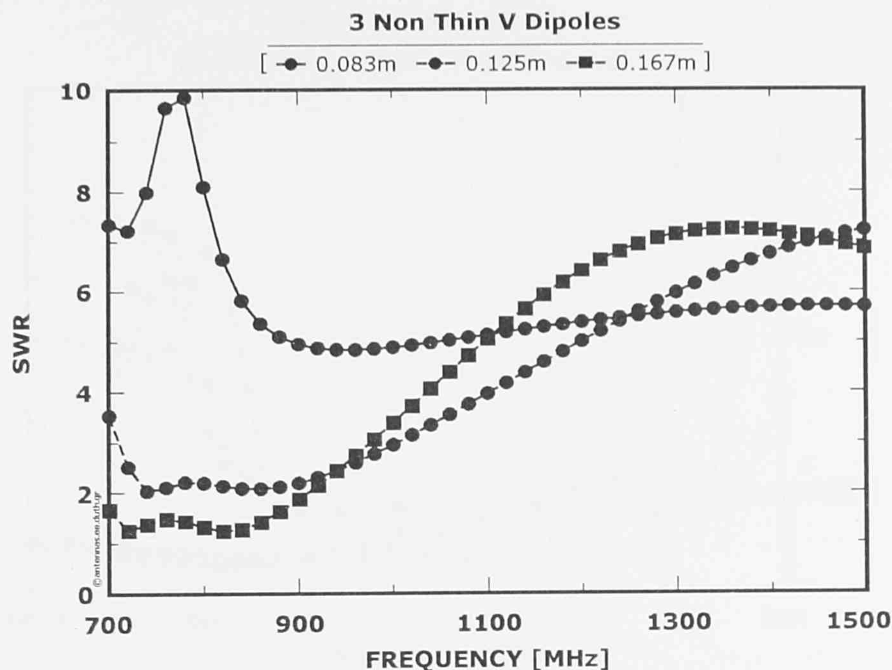
Σχήμα 8.60 : Φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές γωνίες μεταξύ των σκελών τους.



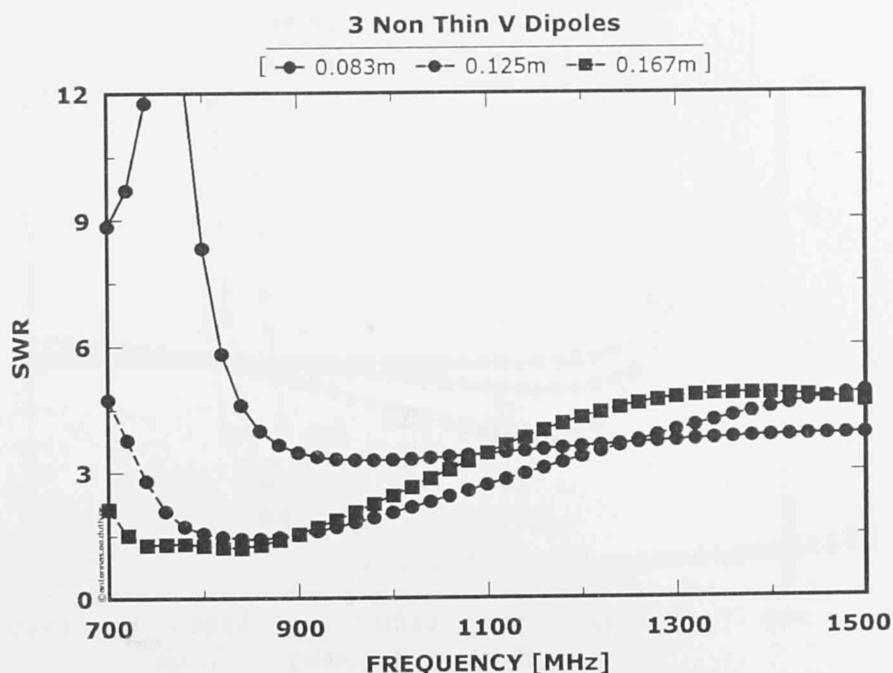
Σχήμα 8.61 : Πραγματικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες αυτών.



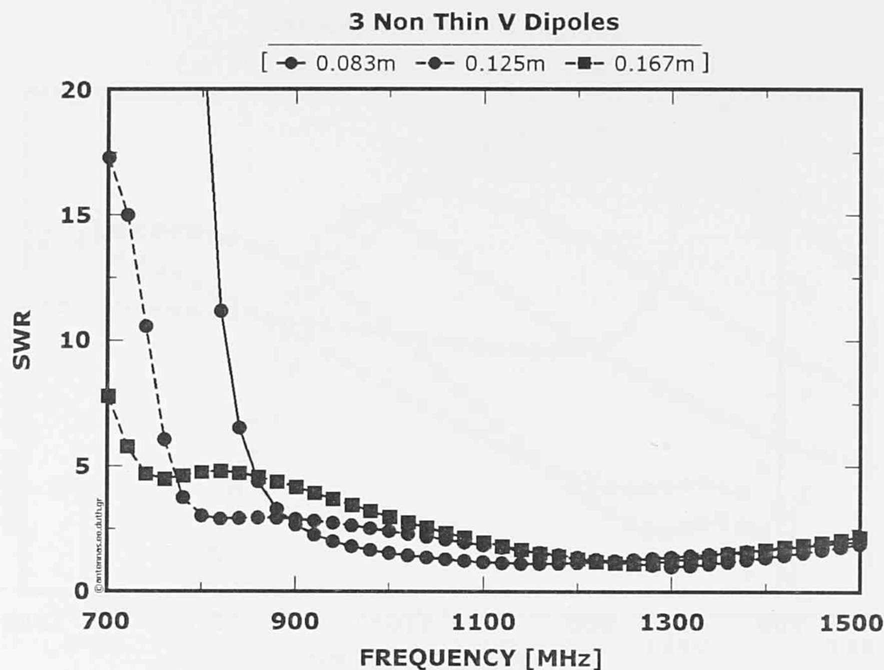
Σχήμα 8.62 : Φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου τριών διπόλων συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες αυτών.



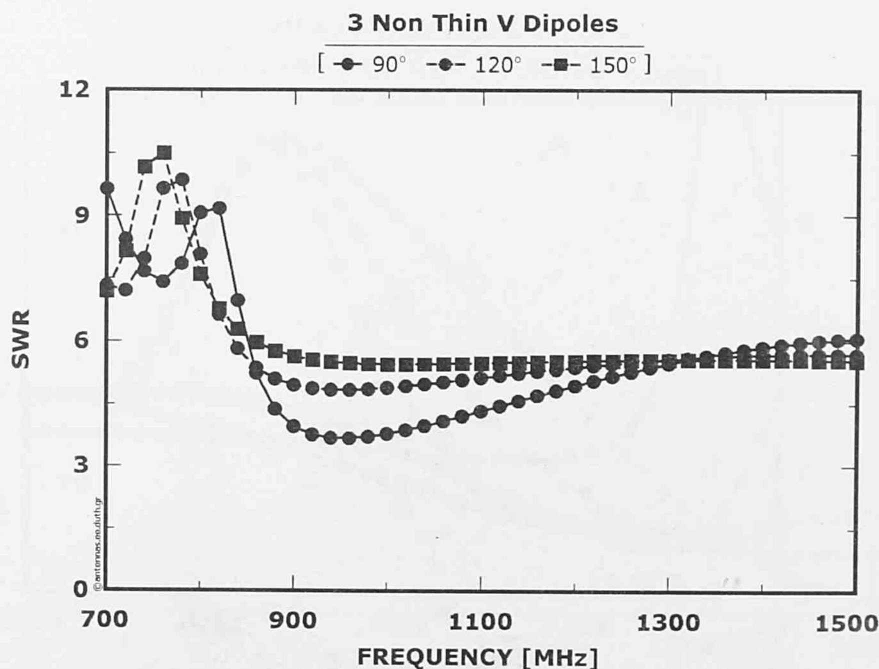
Σχήμα 8.63 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 50Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των διπόλων.



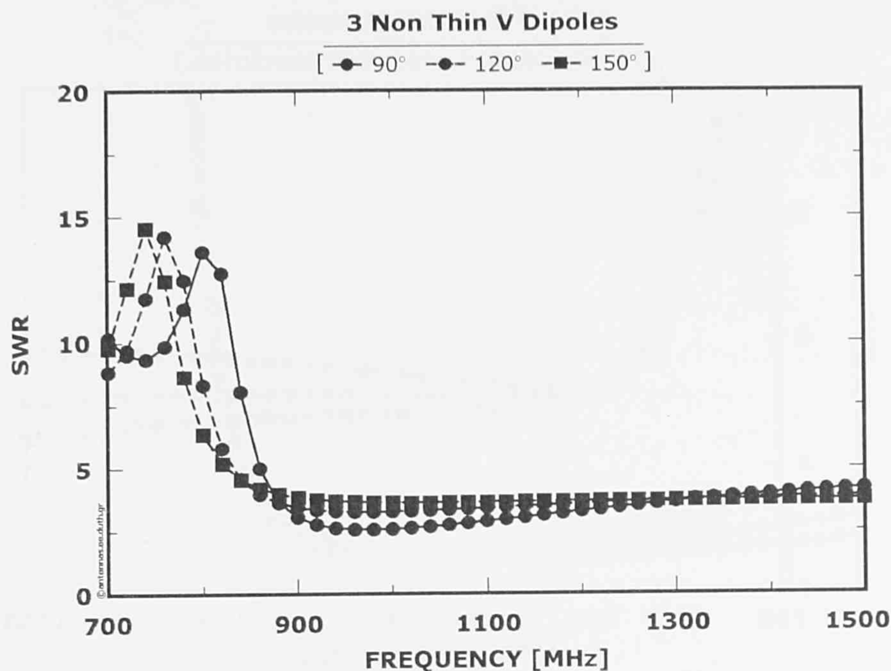
Σχήμα 8.64 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 75Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των διπόλων.



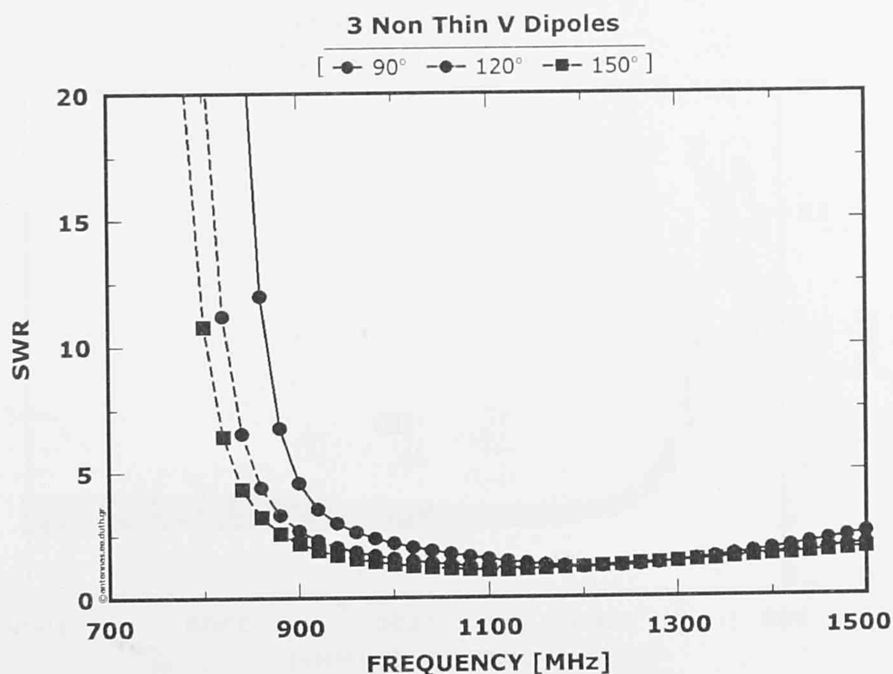
Σχήμα 8.65 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των διπόλων.



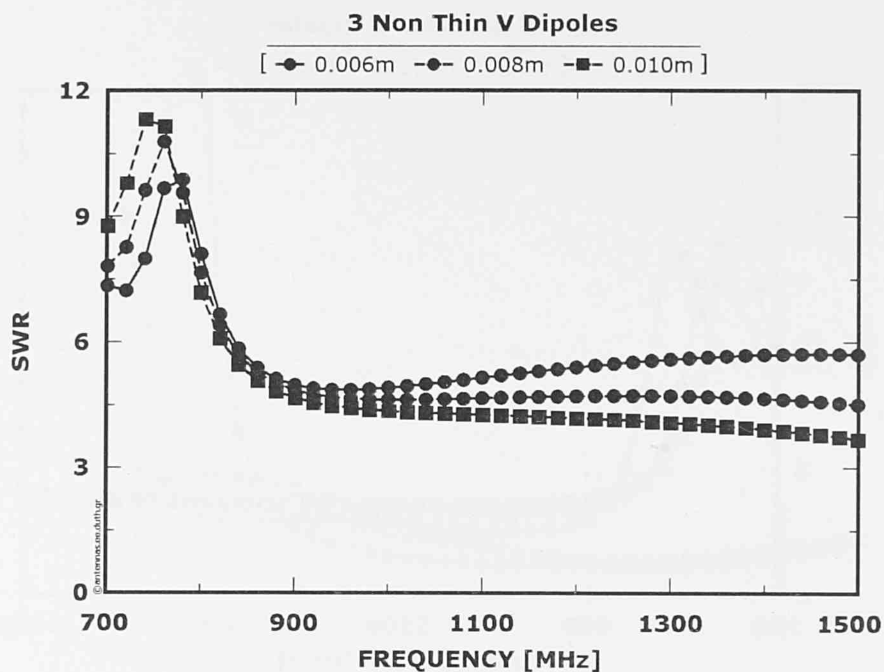
Σχήμα 8.66 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 50Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών των διπόλων.



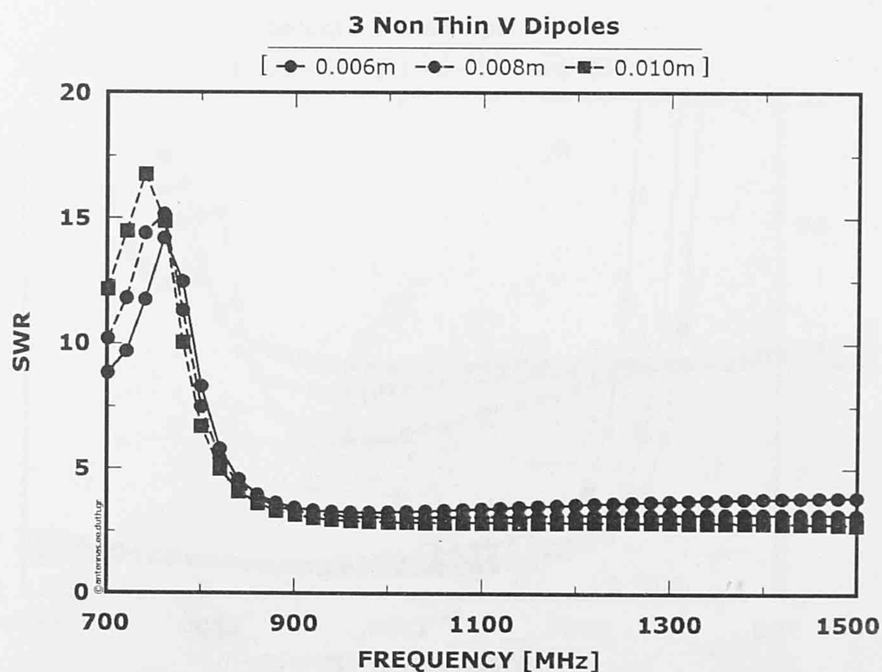
Σχήμα 8.67 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 75Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών των διπόλων.



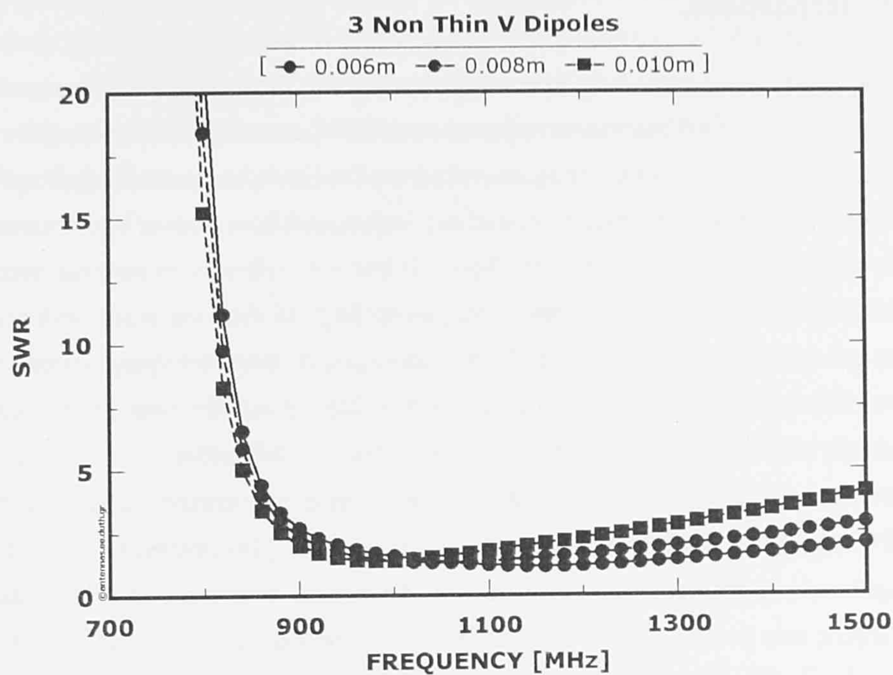
Σχήμα 8.68 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών των διπόλων.



Σχήμα 8.69 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 50Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες των μη λεπτών διπόλων.



Σχήμα 8.70 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 75Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες των μη λεπτών διπόλων.



Σχήμα 8.71 : Λόγος στάσιμων κυμάτων ως προς 300Ω χαρακτηριστική αντίσταση συναρτήσει της συχνότητας για διαφορετικές ακτίνες των μη λεπτών διπόλων.

8.4 : Συμπεράσματα.

Σκοπός του μέρους συλλογής και επεξεργασίας της διατριβής ήταν η συγκέντρωση και αποθήκευση των διπλωματικών εργασιών και των μεταπτυχιακών διατριβών που εκπονήθηκαν στο εργαστήριο και η δημιουργία μιας On-line ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης. Η συλλογή και η αποθήκευση έγινε για όλες τις διπλωματικές εργασίες και μεταπτυχιακές διατριβές αλλά για την κατασκευή της βιβλιοθήκης επιλέχθηκαν οι πιο σημαντικές από αυτές (21 διπλωματικές και 2 μεταπτυχιακές διατριβές). Πρέπει να σημειωθεί ότι αρχικά υπήρχε η προοπτική να συμπεριληφθεί και κάποιο μέρος από το λογισμικό που αναπτύχθηκε σε κάποιες εργασίες το οποίο όμως τελικά δεν έγινε. Ωστόσο χρησιμοποιήθηκε κάποιο μέρος του λογισμικού στο ερευνητικό μέρος της διατριβής.

Σκοπός του ερευνητικού μέρους της διατριβής ήταν η ανάπτυξη ενός μοντέλου για μη λεπτά ανισοσκελή δίπολα ευθύγραμμα ή τύπου V και η δημιουργία των αντίστοιχων προγραμμάτων για την προσομοίωση αυτών. Το πρώτο που έγινε ήταν η επαλήθευση της ορθότητας του μοντέλου μας συγκρίνοντας τα αποτελέσματά μας με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας καθώς και με προσομοιώσεις από άλλα προγράμματα. Από τις συγκρίσεις λοιπόν με τα διαγράμματα του King, [41], του Kraus, [33] και του Pereira, [42] καθώς και από τα προγράμματα MMANA, [43] και Richwire, το μοντέλο του μη λεπτού διπόλου που αναπτύξαμε φαίνεται αρκετά αξιόπιστο. Για το Richwire μάλιστα η σύγκλιση είναι μέχρι και το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με τα διαγράμματα των σημειώσεων και μετά τη μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων των μη λεπτών διπόλων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για ακτίνες που πλησιάζουν το κριτήριο λεπτότητας τα διαγράμματά μας τείνουν να ταυτιστούν με αυτά των σημειώσεων.
- Για ακτίνες σχετικά μεγάλες παρατηρούμε ότι τα δίπολα συντονίζουν σε μικρότερη συχνότητα, πράγμα που ήταν αναμενόμενο.
- Η συμπεριφορά των διαγραμμάτων μεταβάλλεται σχεδόν ανεπαίσθητα, όταν ο αριθμός των λεπτών περιφερειακών συρμάτων ξεπεράσει το 10.
- Καθώς η τιμή της ακτίνας μεγαλώνει παρατηρείται μετατόπιση των τοπικών μεγίστων και ελαχίστων της αμοιβαίας αντίστασης προς μικρότερες τιμές της κανονικοποιημένης μεταξύ των διπόλων απόστασης.

Εκτός από τα παραπάνω έγινε μια επέκταση για την προσομοίωση ανισοσκελών διπόλων τύπου V στον χώρο. Έτσι δημιουργήθηκε το κατάλληλο πρόγραμμα που μας επιτρέπει τον σχεδιασμό τέτοιων διπόλων με οποιεσδήποτε γωνίες, μήκη σκελών και για οποιεσδήποτε θέσεις στον χώρο, αρκεί να τηρούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί που έχουμε θέσει.

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων της αντίστασης εισόδου και του λόγου στάσιμων κυμάτων για τα δίπολα V προκύπτουν τα εξής:

- Η μεταβολή στην γωνία επηρεάζει το εύρος ζώνης. Για την ακρίβεια όταν μεγαλώνει η γωνία αυξάνεται το εύρος ζώνης για το οποίο το SWR των 300Ω πέφτει κάτω από 2, Σχήμα 8.47. Ωστόσο, η κεντρική συχνότητα του εύρους παραμένει σταθερή και το SWR στα 300Ω στη συχνότητα αυτή είναι το χαμηλότερο.
- Η μεταβολή στην ακτίνα του μη λεπτού διπόλου επηρεάζει τη συχνότητα συντονισμού. Για την ακρίβεια όταν αυξάνει η ακτίνα τότε μειώνεται η συχνότητα συντονισμού.

Σαν μελλοντική εργασία το μοντέλο του μη λεπτού διπόλου που χρησιμοποιήσαμε θα μπορούσε να επεκταθεί και να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση οποιασδήποτε κεραίας η οποία δεν είναι ηλεκτρικά λεπτή. Κάτι που επίσης θα ήταν πολύ χρήσιμο να γίνει είναι στην ηλεκτρομαγνητική ανάλυση να ληφθούν υπόψη και τα κυκλικά ρεύματα τα οποία ρέουν πάνω στα δίπολα. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αναθεωρηθεί η διαδικασία μοντελοποίησης σύμφωνα με τη μέθοδο των ροπών ώστε να περιλαμβάνει και αυτά τα ρεύματα.

Βιβλιογραφία

[1] *http://home.att.net/ ray.l.cross/asap/asapexam/thinwire/index.html*.

[2] *The ARRL Antenna Book, 18th Edition*.
The American Radio Relay League.

[3] Electrical Engineering Training Series,
http://www.tpub.com/neets/book10/42n.htm .
Integrated Publishing.

[4] B. Hicks, W. Erickson, K. Stewart,
NRL Low-Frequency Antenna Development .

[5] Π. Ζιμουρτόπουλος,
Κεραίες I/II: Ανάλυση.
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1999-2005,
http://antennas.ee.duth.gr.

[6] Χ. Θεοχάρους,
Λογαριθμική περιοδική κεραία με στοιχεία Slim-Jim.
Εργαστήριο Μικροκυμάτων-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία, Ξάνθη, 1984.

[7] Η. Καραβιώτης,
Βελτιωμένη σχεδίαση μακροπεριοδικών κεραιών λεπτού σύρματος.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #01, Ξάνθη, 1986.

[8] M. T. Ma,
Theory and Application of Antenna Arrays.
John Wile & Sons, New York, 1974.

[9] Χ. Αντωνόπουλος,
Επέκταση του Προγράμματος Λεπτού Σύρματος. Εφαρμογή: Μακροπεριοδικές κεραίες.

Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #07, Ξάνθη, 1989.

[10] D E. Isbell,
Log periodic dipole arrays.
IRE Trans.Antennas and Propagation, Vol.AP-8, No.3, PP260-267, 1960.

[11] Γ. Λυσσούδης,
Μελέτη και κατασκευή προτύπου απολαβής.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #02, Ξάνθη, 1987.

[12] Α. Τζιλάκας,
Μελέτη της κεραίας Dopplequad.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #03, Ξάνθη, 1987.

[13] Χ. Κανάρης,
Κεραίες τύπου J.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #04, Ξάνθη, 1987.

[14] Α. Ψωμούλης,
Τροποποιημένη κεραία Dopplequad.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #08, Ξάνθη, 1989.

[15] Γ. Λυμπερόπουλος,
Μικτές συστοιχίες διπόλων.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #09, Ξάνθη, 1989.

[16] Ν. Κατραλής,
Η κεραία Ground Plane.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #13, Ξάνθη, 1992.

[17] Α. Μαρούσης,
Μελέτη παράλληλης διάταξης κεραιών Yagi.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #19, Ξάνθη, 1996.

[18] Δ. Γκότοβου,
Η Δισκοκωνική Κεραία (Skeleton Disc Cone Antenna.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #23, Ξάνθη, 1999.

[19] Γ. Συγκούδης,
Η κεραία X-BEAM.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #24, Ξάνθη, 2000.

[20] Κ. Κονδύλης,
Συστοιχίες πολλαπλών ενεργών στοιχείων.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #25, Ξάνθη, 2000.

[21] Δ. Κουλούρης,
Μελέτη και πιστοποίηση της κεραίας Collinear Array.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #26, Ξάνθη, 2000.

[22] Χ. Λάμπρος,
Μελέτη και πιστοποίηση της κεραίας Sterba-Bruce.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #28, Ξάνθη, 2001.

[23] Χ. Κουτσός,
Μελέτη μονοπολικής κεραίας με αντίβαρο.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #30, Ξάνθη, 2002.

[24] Ε. Μπαμπλή,
Η κεραία Hentenna.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #31, Ξάνθη, 2004.

[25] Κ. Δρακάτος,
Η κεραία Diamondback.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #32, Ξάνθη, 2004.

[26] Γ. Συμεωνίδης,
Η κεραία BowTie.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #33, Ξάνθη, 2004.

[27] Γ. Συμεωνίδης,
Quad(Quad Arrays).
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #34, Ξάνθη, 2005.

[28] Δ. Χώρης,
Μετασχηματιστής μετατροπής τύπου BAZOOKA.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #06, Ξάνθη, 1989.

[29] Π. Μάγκλαρης,
Βελτίωση της διαδικασίας μελέτης συμμετρικών κεραιών.
Κεραίες-ΔΠΘ, Διπλωματική Εργασία #18, Ξάνθη, 1996.

[30] Κ. Κονδύλης,
Πρότυπες συστοιχίες κεραιών.
Κεραίες-ΔΠΘ, Μεταπτυχιακή Διατριβή #01, Ξάνθη, 2002.

[31] Χ. Κουτσός,
Συστοιχίες Κεραιών Ανασχηματιζόμενου Διαγράμματος Ακτινοβολίας.
Κεραίες-ΔΠΘ, Μεταπτυχιακή Διατριβή #02, Ξάνθη, 2004.

[32] H.J. Richmond,
Computer Program For Thin-Wire Structures In A Homogeneous Conducting Medium,"
The Ohio State University, 1973.

[33] John Kraus,
Κεραίες, 2η Έκδοση.
Εκδόσεις Α. Τζιόλα.

[34] J.W. McCormack,
Antennas-Scatterers Analysis Program, A General Purpose User-Oriented Computer Program For Analysis of Thin-Wire Structures in the Presence of Finite Ground .
Naval Postgraduate School, PhD Thesis, Monterey, California, 1974.

[35] H. Jasik,
Antenna Engineering Handbook.
McGraw-Hill, 1961.

[36] *http://www.python.org*.

[37] *http://www.gtk.org*.

[38] *http://matplotlib.sourceforge.net/*.

[39] *http://public.kitware.com/VTK/*.

[40] *http://www.scipy.org/*.

[41] Howard E. King,
Mutual Impedance of Unequal Length Antennas in Echelon,"
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, July 1957.

[42] F.D. Quesada Pereira, J.L. Gomez Tornero, D. Canete Rebenaque, J. Pascual Garcia and A. Alvarez Melcon,
Analysis of Thick-Wire Antennas Using a Novel and Simple Kernel Treatment,"
Microwave and Optical Technology Letters, August 2005.

[43] *http://mmhamsoft.ham-radio.ch/*.